AUT REGREDIENDUM
AUT VINCENDUM

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE

DE PHOTOGRAPHIE

DROITS DE TRADUCTION RÉSERVÉS

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE

DE

PHOTOGRAPHIE

PAR

CHARLES FABRE

DOCTEUR ÈS SCIENCES

CHARGÉ DE COURS A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE TOULOUSE

TOME QUATRIÈME

AGRANDISSEMENTS — APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE

PARIS

GAUTHIER-VILLARS & FILS, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

55, QUAI DES AUGUSTINS, 55

—

1890

LIVRE XXIII

AGRANDISSEMENTS

§ I. — DÉFINITIONS.

808. Épreuves de grandes dimensions. — Les difficultés qui se rencontrent dans la fabrication et l'emploi des objectifs photographiques de large diamètre sont à peu près insurmontables et ne permettaient pas, dès les débuts de la photographie, d'obtenir de grandes images, par exemple des portraits de grandeur naturelle. On a donc été amené à chercher une solution de ces difficultés en produisant d'abord un phototype de petites dimensions, présentant une grande netteté; cette image était ensuite copiée dans des dimensions supérieures à celles qu'elle présentait : on obtenait ainsi un *agrandissement*. On a, par extension, donné ce nom à une reproduction plus grande que l'original, que celui-ci soit opaque ou transparent.

La fabrication difficile des grands objectifs photographiques n'est pas la seule raison qui ait fait recourir aux procédés de l'agrandissement ; lors même que l'on parviendrait à fabriquer correctement de tels objectifs, ils ne seraient pas susceptibles de donner de bons résultats. Il est, en effet, indispensable de donner à ces instruments un long foyer afin qu'ils puissent couvrir une large surface; ce long foyer exige un assez grand diamètre pour les lentilles, sans quoi l'objectif ne serait pas rapide. Ces deux conditions entraînent deux défauts dans les images: en effet, un objectif à long foyer manque de profondeur (**170-A et B**), à moins que les premiers plans ne soient pas éloignés (**170-C**). Nous avons vu (tome I, p. 371) que la profondeur du foyer diminue rapidement quand le foyer s'allonge ou que la grandeur de l'image augmente; par suite, avec les objectifs à long foyer, il est impossible d'obtenir des paysages avec des premiers plans suffisamment nets, et des inconvénients semblables se présentent lorsqu'on emploie de tels objectifs à la production des portraits: il est

impossible d'obtenir la netteté des divers plans de la figure ; en outre, tout objectif à portrait ayant un long foyer possède des lentilles de large diamètre. Dans ces conditions, comme l'a fait observer Bertsch [1], cet objectif voit le modèle comme nous le verrions nous-mêmes si nous portions alternativement la tête à droite et à gauche, c'est-à-dire qu'il aperçoit une succession de plans autre que celle perçue par nos yeux ; ainsi, dans un portrait où la disposition de la pose ne nous laisserait voir qu'une oreille et à peine le commencement de l'autre, un large objectif nous montrera les deux oreilles. Ce défaut devient choquant si l'on emploie des lentilles dont le diamètre est supérieur à 0^m10. Il suit de là que pour obtenir des portraits de grandeur naturelle avec les surfaces sensibles *employées actuellement,* il faut avoir recours aux procédés d'agrandissement.

809. Images transparentes, images opaques. — On peut se proposer d'agrandir une image transparente, telle qu'un phototype sur verre, ou bien une image opaque, par exemple un portrait carte de visite ; des méthodes convenables à chacun de ces cas permettent d'obtenir une épreuve agrandie. En supposant que l'image originale soit parfaite (optiquement parlant), examinons si le rapport de la dimension de l'original à son image agrandie peut décroître indéfiniment, ou, ce qui revient au même, cherchons si l'on peut agrandir à une dimension quelconque un objet. Il semble en théorie qu'il puisse en être ainsi ; en pratique, l'on est rapidement arrêté par la nature même de l'image. Prenons, par exemple, un phototype sur verre obtenu sur couche d'émulsion au gélatino-bromure, et admettons que l'on se soit servi de plaques extra-rapides du commerce. Dans ces conditions, la grosseur du grain de la couche s'oppose à l'agrandissement. En nous servant de très bons objectifs, nous constaterons qu'il est impossible d'obtenir *avec netteté* l'image de deux points qui sur l'épreuve sont distants d'environ un quinzième de millimètre. En agrandissant une telle image à quatre diamètres, on constate que la netteté n'est pas satisfaisante ; les contours des parties les plus fines présentent un aspect estompé qu'il est impossible d'éviter. Si l'on emploie des plaques moins rapides, l'agrandissement peut devenir plus considérable, et l'on peut atteindre six à huit fois le diamètre de l'original avec les émulsions très lentes.

1. A. Davanne, *Les progrès de la photographie*, p. 4.

Les images sur collodion présentent des limites d'agrandissement plus étendues. Bertsch a montré [1] que, dans de bonnes conditions pratiques, l'agrandissement est limité par l'apparition de l'arrangement moléculaire de la substance servant de support à la petite image. On ne commence à voir les réseaux formés par la couche constituant l'image que lorsque l'agrandissement atteint 50 diamètres, soit 2,500 surfaces. Pour les phototypes sur albumine, on peut arriver à 80 diamètres, soit 6,400 surfaces. Il existe donc une limite à l'agrandissement des images transparentes.

Pour les images opaques, telles qu'épreuves sur papier, l'agrandissement ne peut être considérable. L'épreuve obtenue présente une sorte de grain dû à la texture du papier; ce grain est d'autant plus fortement visible sur l'épreuve agrandie que l'amplification a été plus considérable; on ne peut donc agrandir indéfiniment une épreuve opaque.

§ 2. — DES IMAGES DESTINÉES A L'AGRANDISSEMENT.

810. Qualités de l'image. — Les agrandissements photographiques s'exécutent le plus souvent d'après un négatif que l'on imprime sur papier en employant divers procédés. Ce négatif peut, à la rigueur, être quelconque au point de vue de la transparence, et pourvu que l'image soit nette, on peut, à l'aide de certains artifices, obtenir une image amplifiée qui sera satisfaisante. Mais il n'est pas toujours aisé d'obtenir ce résultat, et si l'on fait un négatif que l'on destine à l'agrandissement, il est bon que l'image soit très douce, très détaillée et peu intense; il faut qu'elle soit exempte de voile, ce qui augmente le temps de pose et donne souvent naissance à des positives d'une teinte grise.

Si l'amplification ne doit pas être considérable, on peut employer le procédé au gélatino-bromure d'argent. Pour des agrandissements de dimension moyenne, on se servira du procédé au collodion humide; enfin, s'il s'agit de fortes amplifications (50 à 80 diamètres), on emploiera exclusivement le procédé sur albumine; c'est celui qui, dans l'état actuel de nos connaissances, permet les agrandissements les plus considérables.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1860, p. 170.

La nature de la substance sensible étant ainsi choisie, il reste à déterminer l'objectif qu'il convient d'employer.

Les meilleurs résultats seront obtenus avec les objectifs *aplanétiques suivant l'axe*. Parmi ces derniers, on donnera la préférence à l'objectif double Petzwal (**66** à **71**), aux rectilinéaires rapides (**74** et **77**), aplanats (**74**), antiplanats (**73**) et leurs diverses variétés. Quel que soit le système d'objectif adopté, on le choisira d'un *foyer aussi court que possible*, pourvu qu'il couvre nettement le format de plaque employé.

C'est ainsi que pour la dimension *carte de visite* on se servira d'un objectif Petzval d'environ 0^m21 de foyer, ou d'un rectilinéaire rapide de 0^m10 à 0^m12 de foyer. L'avantage d'un objectif à court foyer réside en ce que, avec la même ouverture, il donne plus de profondeur qu'un instrument de foyer plus long : l'examen des tableaux **170-A** et **171-B** démontre nettement ce fait.

Le diaphragme employé sera aussi petit que le comportent les circonstances. Ce qu'il faut obtenir dans un phototype destiné à l'agrandissement, c'est une netteté aussi grande que possible. Nous avons vu (**171**) que la *netteté* d'une image était relative à la distance à laquelle on examinait cette image ; nous avons indiqué que le diamètre du cercle de confusion était égal à 0^m00025 pour les épreuves examinées à la distance d'environ 0^m35. Mais si l'image est très petite, si elle est destinée à être agrandie, le diamètre du cercle de confusion tolérée doit être aussi petit que possible. En employant de petits diaphragmes $\left(\text{jusqu'à une certaine limite, soit environ } \frac{f}{50} \text{ à } \frac{f}{60}\right)$, on arrive à diminuer le diamètre de ces cercles : l'amplification de l'original fournit alors une image qui, examinée à une distance convenable, présente une netteté suffisante.

811. Insuccès. — Les défauts que présente une petite épreuve étant amplifiés dans l'image agrandie, on apportera le plus grand soin dans l'exécution du phototype destiné à l'amplification. Il arrive souvent que le négatif contient des taches, des piqûres, etc.; ces défauts sont très difficiles à retoucher, et, en principe, on ne doit pas retoucher un phototype destiné à être agrandi. Dans le cas d'un portrait, par exemple, il vaut mieux recommencer le petit négatif que de chercher à l'améliorer par la retouche ; s'il n'est pas possible de refaire le phototype, on opèrera par une méthode indirecte.

§ 3. — DIVERS PROCÉDÉS D'AGRANDISSEMENT.

812. Procédé direct. — Quel que soit le procédé employé pour amplifier l'image originale, cette image et son agrandissement sont liés par la loi des points conjugués (**30, 172, 173**).

Le procédé direct d'agrandissement consiste à se servir d'un phototype négatif convenablement éclairé, dont on reproduit directement l'image amplifiée soit sur papier au chlorure d'argent, soit sur toute autre surface sensible permettant d'obtenir une image positive. On a successivement employé le papier préparé à l'iodure d'argent, au chlorure d'argent, le papier mixtionné, et enfin le papier au gélatino-bromure et celui au gélatino-chlorure d'argent. Dans le procédé direct, chaque épreuve est obtenue en se servant directement de l'original.

813. Procédé indirect. — Dans le procédé indirect, l'image originale sert à obtenir un grand négatif que l'on retouche et que l'on imprime par les procédés usuels.

Ce négatif peut s'obtenir en agrandissant directement une image positive, telle qu'un portrait-carte par exemple, ou bien, si l'épreuve originale est négative, on obtient de ce phototype une positive par transparence, amplifiée ou de même grandeur que l'original ; cette positive sert ensuite à obtenir le grand négatif qui servira à l'impression des images agrandies.

Le procédé indirect présente de nombreux avantages, en particulier celui de permettre les retouches et l'amélioration des négatifs originaux. Un négatif dur peut fournir, par des moyens appropriés, une positive transparente plus douce et cette image fournit à son tour un négatif convenable. Nous nous sommes étendus sur les avantages de cette méthode appliquée à la transformation des négatifs (**308**).

814. Éclairage de l'épreuve originale. — L'épreuve destinée à être agrandie doit être assez fortement éclairée pour que le temps de pose ne soit pas trop long et que le caractère de l'image à agrandir ne soit pas modifié. C'est ainsi qu'une image dure sera fortement éclairée, tandis qu'un négatif léger nécessitera peu de lumière, afin qu'aucun des détails ne soit perdu. On doit ici suivre une méthode

identique à celle que l'on emploie dans le phototirage des négatifs, c'est-à-dire employer une forte lumière pour les phototypes vigoureux et une lumière relativement faible pour ceux qui sont légers ; cette observation est fort importante et permet de tirer parti de négatifs qui seraient inutilisables si l'on employait toujours le même mode d'éclairage.

Les sources de lumière auxquelles on a recours pour éclairer l'épreuve à agrandir sont : 1° la lumière solaire ; 2° la lumière diffuse ; 3° les lampes à pétrole ; 4° la lumière oxhydrique ; 5° la lumière électrique. Chacun de ces modes d'éclairage nécessite des appareils spéciaux dont nous étudierons le maniement en décrivant chaque procédé particulier.

BIBLIOGRAPHIE.

Davanne. *La Photographie*, t. II.
Liébert. *La Photographie en Amérique.*
Van Monckhoven. *Traité général de photographie*, 7e édition.

CHAPITRE II.

PROCÉDÉ DIRECT.

§ 1. — MATÉRIEL.

815. Chambre solaire à éclairage convergent. — La chambre solaire imaginée par Woodvard[1] est un appareil analogue à la lanterne magique. Il se compose essentiellement d'une grande lentille (*condensateur*) fixée à l'extrémité d'une boîte en bois ; à l'autre extrémité se place un objectif à portraits : la distance qui sépare le condensateur de l'objectif est précisément égale à la longueur focale de ce condensateur. Le négatif à agrandir se meut entre l'objectif et la lentille : on le place à une distance de l'objectif qui varie avec l'amplification à obtenir. Le condensateur a pour objet de concentrer la lumière solaire sur le négatif, de manière à l'éclairer fortement. Dans ce but, un porte-miroir attaché à la boîte qui constitue l'appareil permet de réfléchir la lumière solaire sur le condensateur; des vis de rappel fixées au porte-miroir permettent de maintenir les rayons solaires réfléchis dans une direction constante. L'installation et le maniement de l'appareil ne présentent aucune difficulté. On fixe à une fenêtre exposée au midi la partie de la chambre solaire qui porte le miroir, on obscurcit la salle dans laquelle on opère; à une certaine distance de l'objectif, on dispose un chevalet portant une planchette que l'on place verticalement, de telle sorte que le plan de cet écran soit parallèle au plan du négatif ou perpendiculaire à l'axe de l'appareil; on fait avancer ou reculer le négatif jusqu'à ce que son image se forme avec netteté sur la planchette du châssis; on place alors sur cette planchette une surface sensible à la lumière et

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1859, p. 220.

l'on maintient les rayons lumineux dans une direction telle qu'ils puissent traverser librement l'objectif.

Les défauts que présente l'appareil de Woodward sont assez nombreux : d'abord la disposition mécanique est mauvaise en ce que les vis de rappel destinées à faire mouvoir le miroir sont difficiles à manœuvrer sans qu'il se communique une vibration à l'appareil, vibration qui se traduit par un manque de netteté dans l'image agrandie ; la position de l'objectif, par rapport au condensateur, n'est pas absolument correcte. Claudet[1] croyait qu'un des avantages du dispositif imaginé par Woodward résidait en ce que le foyer du condensateur se faisait au centre de l'objectif. D'après lui, ce centre seul formait l'image, et il admettait qu'on opérait comme si l'on se servait d'un objectif réduit à une ouverture aussi petite que l'image du soleil formé sur sa surface, sans qu'il soit nécessaire d'employer un diaphragme. Lorsque le temps est bien clair, si le soleil brille d'un vif éclat et si le négatif est bien transparent, les choses se passent de la manière indiquée par M. Claudet ; mais si l'on opère par l'emploi de la lumière diffuse, il en est tout autrement. Dans ce cas, comme l'a fait remarquer Thouret[2], l'objectif travaille uniquement d'après la loi des points conjugués, tandis que par un temps bien clair, d'après Claudet[3], dans la chambre solaire, l'objet lumineux n'est que le soleil intercepté par les lignes noires ou le treillis du négatif : les parties transparentes de ce dernier n'arrêtent pas plus les rayons du soleil que les carreaux d'une fenêtre. Le seul point du centre de l'objectif voit le négatif et tous les autres points sont aveugles ; l'image amplifiée sur l'écran n'étant que celle qui est vue à travers le centre de l'objectif, il n'y a plus d'aberrations et cette image est d'une netteté extraordinaire, pourvu *que le condensateur ne soit pas d'un trop grand diamètre* et de distance focale assez longue (0m21 de diamètre au maximum et de 0m60 de distance focale). Foucault[4], tout en admettant cette explication, a fait remarquer qu'en faisant tomber sur la lentille amplifiante le foyer des rayons solaires, on a pour résultat de n'affecter qu'une seule et même portion de cette lentille à la formation de l'image entière du négatif, et sous prétexte d'éviter l'aberration de sphéricité, on tombe dans l'inconvénient plus grave qui consiste en une diminution du champ de netteté ; il vaut mieux, comme l'a indiqué Thouret, faire tomber l'image solaire un peu au delà de la lentille amplifiante.

Dans le but d'augmenter la rapidité de l'impression des images sur papier au chlorure d'argent, on s'est servi de condensateurs de grand diamètre et de courte distance focale (0m50 à 0m80 de diamètre et 0m90 à 1m20 de foyer) sans remarquer la valeur énorme que prenait le cercle d'aberration ; le diamètre de ce cercle croît comme le *cube* de l'ouverture. Dans ces conditions, l'objectif amplificateur arrête une partie des rayons émergents de la lentille condensatrice. Van Monckhoven a montré[5] qu'il était alors impos-

1. *The Phot. Journ. of the London Soc.*, 16 juin 1860.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1860, p. 284.
3. *Ibid.*, 1861, p. 6.
4. *Ibid.*, p. 14.
5. *Traité d'optique photographique*, p. 189.

sible d'obtenir une image nette, car il se produit des phénomènes de diffraction analogues à ceux que l'on peut constater lorsque l'on diaphragme à l'excès $\left(\frac{f}{75}$ à $\frac{f}{120}\right)$ un objectif photographique ordinaire : l'image perd de sa finesse. Dans la chambre solaire munie d'un grand condensateur *non corrigé* pour l'aberration sphérique, l'objectif amplifiant (dont le diamètre est plus *petit* que le cercle d'aberration du condensateur) agit *pratiquement* comme un très petit diaphragme : on obtient alors une image agrandie dont les contours sont doublés. En diaphragmant le condensateur (par exemple à l'aide d'un porte-clichés) on diminue l'aberration sphérique, on augmente la finesse de l'image, la durée de l'impression est prolongée et l'on perd l'un des avantages que l'on est en droit d'attendre de l'emploi des grands condensateurs. Ces lentilles doivent donc être corrigées de leur aberration sphérique.

L'objectif doit laisser passer tous les rayons émis par le condensateur et être exempt d'aberration sphérique. Van Monckhoven a fait voir que dans la chambre solaire chaque point du négatif à agrandir peut être considéré comme traversé par un seul pinceau de lumière solaire ; par conséquent, une fraction infiniment petite de l'objectif amplificateur forme l'image de ce point sur l'écran. Il suit de là que dans la chambre solaire l'objectif double n'agit pas comme à l'ordinaire lorsqu'on l'emploie à produire une image dans la chambre noire ; en effet, dans ce dernier cas, un point du plan à reproduire envoie à l'objectif un faisceau ayant pour sommet le point lui-même et pour base la partie de la surface de la lentille que le diaphragme laisse libre de regarder le point : l'image se forme donc d'une manière toute différente. Mais si la lumière solaire manque d'intensité, ou si le négatif est très dur, un point du négatif est reproduit par l'objectif de deux manières : la première par la lumière solaire qui le traverse, la seconde par celle qu'il émet. L'objectif agit donc par *un point* de sa surface pour ce qui est de la lumière transmise, et par *toute* sa surface pour la lumière émise par le négatif ; il y a donc deux images : elles ne sont pas concordantes surtout sur les bords de l'épreuve. Van Monckhoven, qui a donné cette explication, a fait construire des objectifs spéciaux pour l'agrandissement et disposés de telle manière que l'image éclairée par la lumière diffuse ou la lumière solaire soit également nette. La lentille en regard de l'écran est juste assez grande pour laisser passer l'image solaire et intercepter toute lumière provenant des points du ciel avoisinant le soleil.

816. Modifications de la chambre solaire. — De nombreuses modifications ont été apportées à la chambre solaire. Wothly [1] a constaté que chaque fois que l'on touchait aux vis de rappel destinées à mouvoir le miroir de l'appareil de Woodward on ébranlait l'appareil ; de là, dans l'image agrandie, un mouvement d'autant plus considérable que le grossissement était plus fort : la netteté de l'image était donc compromise. Wothly sépara le porte-miroir d'avec l'appareil, et afin d'éviter l'influence de la chaleur développée par l'action du soleil sur le bois, il fit construire l'instrument tout en fer.

1. Van Monckhoven, *Traité d'optique photographique*, p. 177.

Hermagis[1] apporta quelques modifications à l'appareil de Woodward. Il augmenta le diamètre du condensateur et sépara le miroir de l'appareil pour éviter les secousses communiquées au système. Mais le miroir de l'appareil (*fig. 590*), au lieu d'être suspendu autour de son centre de gravité, condition indispensable à la stabilité, était suspendu à sa partie inférieure par un arc de cercle attaché sur le côté du miroir. Ce dispositif permettait de se servir d'une glace plus grande que celles employées dans les autres systèmes. Mais le poids du miroir ne portant que sur un point, sa flexion est considérable et a pour effet d'altérer le parallélisme des rayons solaires réfléchis; c'est là une condition nuisible à la netteté de l'image. Entre le

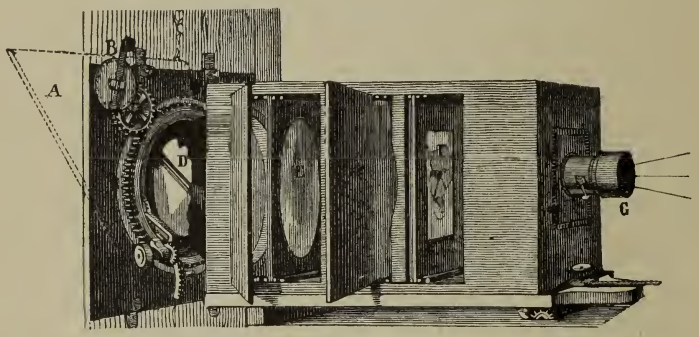


Fig. 590.

négatif à agrandir et le condensateur, on peut placer un verre dépoli, ce qui permet d'opérer avec la lumière diffuse. L'appareil est installé comme l'indique la figure 591. A est le miroir réflecteur, B et C sont les engrenages qui permettent de faire mouvoir l'appareil réflecteur; en D se place un manchon reliant le porte-miroir à la chambre solaire; le condensateur E est placé à l'extrémité de la boîte en bois; le négatif se fixe en F dans un cadre qui permet de lui imprimer un mouvement horizontal et un mouvement vertical pour l'amener exactement dans l'axe de l'appareil; l'objectif G est un objectif à portraits; l'écran J se meut sur deux rails qui permettent de le placer rapidement dans une position perpendiculaire à l'axe du système optique.

817. Appareil dialytique. — L'appareil dialytique (de διά, *à travers;* λύω, *je délie*) a été construit par Van Monckhoven[2]. C'est une chambre solaire qui présente de nombreux avantages sur les anciennes chambres. En effet, le condensateur est corrigé pour l'aberration sphérique, ce qui permet d'éviter les phénomènes de diffrac-

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1862, p. 120.
2. *Ibid.*, 1864, p. 173.

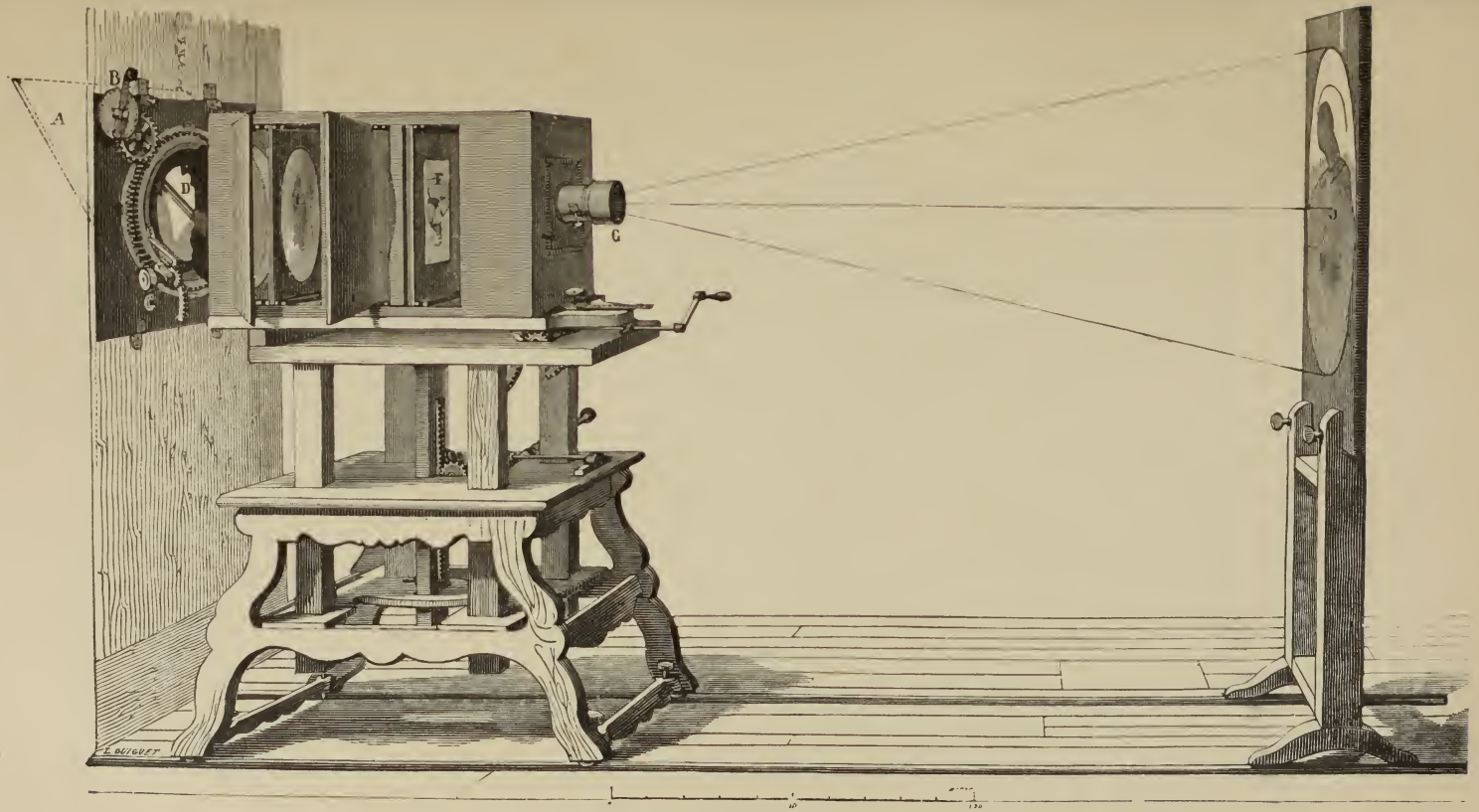


Fig. 591.

tion. L'objectif est de forme spéciale et donne des images très nettes et exemptes de voile.

L'appareil se compose d'un porte-miroir servant de support à une glace polie et fortement argentée. L'axe qui supporte cette glace passe par son plan réfléchissant, perpendiculairement à sa longueur, de manière à ce qu'elle se trouve toujours dans une position d'équilibre stable; l'axe qui supporte le miroir tourne à l'aide d'une roue dentée commandée par un pignon entre deux bras horizontaux, attachés à un disque tournant dans un plan vertical qui reçoit son mouvement à l'aide d'un bouton fileté. Ce réflecteur est fixé dans le volet d'une chambre convenablement obscurcie en regard de la chambre solaire proprement dite. Grâce à cet appareil, le miroir peut prendre toutes les positions nécessaires pour renvoyer horizontalement ses rayons réfléchis dans l'appareil optique.

La chambre solaire est constituée par une boîte en bois et fer contenant une lentille biconvexe faisant l'office de condensateur; la face tournée vers l'intérieur est presque plane, celle tournée vers l'extérieur est fortement convexe. A une distance de cette lentille égale à son diamètre se trouve une lentille concave convexe dont la face concave regarde le condensateur; cette lentille est très mince (0^{m}006 à 0^{m}008), de façon à ce qu'elle n'absorbe pas de lumière; elle a pour objet de détruire l'aberration sphérique du condensateur.

Les données numériques de ce système exprimées en fonction du demi-diamètre du condensateur pris pour unité sont les suivantes :

Première lentille....	$R_1 = 2{,}645$	Deuxième lentille.	$R_3 = -1{,}083$
	$R_2 = 21{,}639$		$R_4 = -1{,}234$
Épaisseur au centre.	$= 0{,}196$	Epaisseur sur les bords.	$= 0{,}0067$
Distance focale.....	$4{,}015$		

Distance des deux lentilles	$= 2{,}0075$
Distance focale de l'ensemble.....	$= 4{,}617$
Expression de l'aberration.....	$= + 0{,}001$

Le verre employé possède un indice de réfraction égal à 1,543 pour le bleu.

Le négatif à agrandir se place entre la seconde lentille et l'objectif; il est maintenu à l'aide de quatre pattes échancrées à leur extrémité inférieure. L'une des pattes horizontales et l'une des pattes verticales sont maintenues à la place convenable à l'aide de vis de pression; les deux autres pattes sont pressées contre le négatif à l'aide de ressorts,

de telle sorte que si la chaleur fait dilater le verre il n'y ait pas à craindre la rupture de ce dernier, ce qui arriverait s'il était maintenu dans une position absolument fixe. En pratique, il suffit de mettre en place le négatif à l'aide des deux pattes verticales.

L'objectif est composé de deux lentilles dont les courbures sont calculées d'après les principes établis pour la construction de l'objectif double de Petzval. Cet objectif est complètement exempt d'aberration sphérique suivant l'axe et de foyer chimique. Le diamètre des deux lentilles qui le constituent est différent : la lentille la plus grande se trouve en regard du négatif. Un objectif dont les deux lentilles auraient le même diamètre, mais dont celle en regard de l'image amplifiée serait munie de diaphragmes, atteindrait le même but. Cet objectif, quelle que soit la dimension du condensateur, embrasse un angle plus grand que l'angle des rayons solaires émergeant du condensateur. La place du négatif dans le cône de rayons solaires émergeant du condensateur est déterminée par le diamètre de la section qui correspond à la diagonale du négatif, cela afin de profiter de toute la lumière solaire émanant du système éclairant. La place du négatif est donc déterminée par *sa dimension*. Il est clair qu'en avançant le négatif vers le condensateur on perd toute la lumière qui tombe en dehors de sa surface; en le rapprochant de l'objectif, l'image est restreinte à la partie du négatif traversée par les rayons solaires. D'un autre côté, la distance du négatif à l'objectif et celle de ce dernier à l'écran sont liées par la loi des points conjugués. Il faut donc donner à la lentille postérieure un diamètre assez considérable pour éviter que les bords du cône des rayons solaires ne viennent heurter les bords de la monture.

Van Monckhoven a fait construire toute une série d'objectifs répondant aux divers cas qui peuvent se présenter.

L'objectif désigné sous la lettre A est destiné à l'appareil dialytique dont le condensateur a 0^m216 de diamètre; cet objectif présente les dimensions suivantes :

Diamètre des lentilles en regard du négatif.....	$= 0^m060$
Diamètre des lentilles en regard de l'image amplifiée....	$= 0^m04$
Distance des deux lentilles.....	$= 0^m055$
Distance focale du système comptée sur l'axe à partir du plan focal principal au plan tangent à la lentille en regard du plan focal.....	$= 0^m114$

Cet objectif sert pour l'amplification des négatifs du format carte de visite ($0^m065 \times 0^m09$).

Pour les condensateurs de 0^m38 et 0^m50 de diamètre on emploie l'objectif B possédant les dimensions suivantes :

Diamètre des lentilles en regard du négatif.....	$= 0^m063$
Diamètre des lentilles en regard de l'image amplifiée....	$= 0^m045$
Distance des deux lentilles.....	$= 0^m085$
Distance focale du système.....	$= 0^m15$

Si le négatif est plus petit que le format carte de visite, on se sert de l'objectif C dont les lentilles présentent les mêmes dimensions que celles de l'objectif B; elles sont très rapprochées et ont un foyer de 0^m12.

Pour agrandir des négatifs plus grands que le format carte de visite et atteignant les dimensions de $0^m12 \times 0^m15$ on emploie le modèle D dont voici les dimensions :

Diamètre des lentilles en regard du négatif.....	$= 0^m081$
Diamètre des lentilles en regard de l'image amplifiée.....	$= 0^m050$
Distance des deux lentilles.....	$= 0^m110$
Distance focale du système.....	$= 0^m183$

Des diaphragmes peuvent se placer entre l'image agrandie et la lentille antérieure, presque au contact de cette dernière; ils permettent d'éviter la lumière diffuse que les points immédiatement voisins du soleil envoient sur l'écran à travers la partie non centrale de cette lentille. Il faut éviter d'employer des diaphragmes trop petits, qui produiraient des phénomènes de diffraction se traduisant par un manque de netteté dans l'image amplifiée.

L'axe principal du condensateur, celui de la lentille correctrice et celui de l'objectif, doivent être en ligne droite.

L'appareil dyalitique s'installe dans une pièce ayant une fenêtre exposée au midi; la place où l'on opère doit avoir 4 à 5 mètres de long. Si le plancher du local dans lequel l'on opère manque de stabilité, il est bon de faire encastrer dans le mur deux pièces de bois ayant une section de 0^m20 sur 0^m35; ces deux pièces de bois ne sont pas en contact avec le plancher, mais doivent se placer à 0^m04 de distance de ce dernier. Ces poutrelles servent à supporter l'appareil par l'intermédiaire d'un pied très massif. Le porte-miroir se place en le fixant aux montants d'une fenêtre et on obscurcit à l'aide de tôle ou de rideaux opaques toutes les vitres de la fenêtre; la lumière ne pénètre que par l'ouverture du porte-miroir; entre ce dernier et la chambre solaire on dispose un manchon d'étoffe opaque pour éliminer la lumière diffuse qui pourrait voiler la surface sensible. Un chevalet muni d'une planchette servant à fixer le papier sensibilisé peut se mouvoir sur les poutrelles et se placer à une distance convenable de la chambre solaire.

Le porte-miroir que l'on installe tout d'abord doit être placé aussi rapproché que possible du plancher et dans un plan absolument vertical. La partie inférieure du cadre de fonte du porte-miroir doit se trouver à 0^m80 de la partie supérieure des poutrelles. La chambre solaire est ensuite placée sur un pied très solide; on la dispose à 0^m20 du cadre du porte-miroir; avec un niveau on s'assure que la chambre solaire est placée horizontalement. Le centre de l'ouverture du porte-miroir et le centre du condensateur doivent être sur un même axe horizontal qui se confond avec l'axe de l'appareil; on le constate facilement lorsque l'appareil étant horizontal, on fait arriver les rayons solaires sur la lentille condensatrice. Elle doit être entièrement couverte, en même temps que la pointe du cône formé par les rayons solaires émergeant du condensateur passe par l'objectif.

Le négatif, coupé exactement à la dimension convenable, est placé entre les pattes qui doivent le maintenir en place. Le châssis à épreuves est constitué par un chevalet de peintre pouvant recevoir des planchettes de bois léger sur lesquelles on fixe le papier sensible. Toutes ces planchettes ont la même épaisseur et peuvent se remplacer l'une par l'autre sans qu'il soit nécessaire de modifier la mise au point effectuée une première fois.

Le maniement de l'appareil est des plus simples : on amène les rayons solaires à se réfléchir sur le condensateur dont toute la surface doit être éclairée en même temps que le sommet du cône des rayons solaires se trouve sur l'axe de l'appareil: on avance ou on recule le négatif placé renversé entre la patte supérieure et la patte inférieure, la couche de collodion regardant l'objectif amplificateur; le négatif est fixé dans une position telle que le bord rouge qui forme le cercle de lumière déterminé par l'intersection du cône lumineux et du négatif touche nettement les angles de ce négatif que l'on place au milieu de ce cône.

On procède ensuite à la mise au point après avoir ramené les rayons solaires à traverser librement l'objectif. On règle d'abord approximativement la distance à laquelle doit se trouver l'écran de l'objectif, puis on approche ou l'on éloigne l'objectif du négatif. Si l'image amplifiée occupe sur l'écran une surface plus grande que le format du papier on rapproche le chevalet de la chambre solaire; au contraire, si l'image est plus petite on l'éloigne en réglant de nouveau la mise au point; quand ce résultat est atteint, on ramène les rayons solaires pour que l'image du soleil se forme sur l'axe de l'appareil, ce

dont on s'assure en regardant la lentille antérieure : le cône lumineux dessine sur cette lentille un cercle qui doit se trouver au milieu de la lentille; sur l'écran, le cône émergeant de l'objectif forme sur le chevalet un cercle bordé de rouge. Tout étant en place, on met sur le bord de ce cercle trois épingles à tête noire; on conduit le porte-miroir en communiquant un mouvement à la manivelle et au bouton toutes les vingt secondes; on glisse alors un verre vert sur le trajet des rayons lumineux et on met en place le papier sensibilisé disposé à l'avance sur une planchette identique à celle qui a servi pour la mise au point.

818. Appareil installé pour le travail pendant l'hiver. — Avec le mode d'installation que nous avons indiqué le miroir réflecteur est trop court pour réfléchir pendant l'hiver les rayons solaires sur toute la surface du condensateur; il faut alors incliner en avant le porte-miroir, de telle sorte que les bras du porte-miroir fassent un angle de 20° avec l'horizon. La chambre solaire, au lieu de se placer sur une surface horizontale, se dispose sur un support dont la section représente un triangle rectangle; l'hypothénuse de ce triangle rectangle fait avec la base horizontale un angle de 20°, de telle sorte que l'axe de l'appareil optique passe par le centre de l'ouverture circulaire du porte-miroir. Le chevalet qui porte l'écran est muni d'une pièce additionnelle permettant d'incliner la surface sensible, de telle sorte qu'elle soit perpendiculaire à l'axe optique de la chambre solaire. Des coulisses permettent d'élever et d'abaisser l'écran, afin d'amener le centre du papier sensible sur l'axe de l'appareil optique.

On peut aussi installer l'appareil solaire en plein air. A la suite de la chambre solaire, on dispose une sorte de longue chambre noire à soufflet, terminée par un châssis destiné à contenir le papier sensible; cet appareil est supporté par un pied que l'on peut orienter facilement, de telle sorte que le miroir ordinaire est toujours assez long pour couvrir de rayons solaires réfléchis toute la surface du condensateur.

Ces deux moyens ne sont pas très pratiques, et il vaut mieux avoir recours à l'emploi de l'héliostat. L'un des plus simples est celui de Farenheit, modifié par Van Monckhoven. L'appareil H (*fig. 592*) est très stable et permet l'emploi d'un grand miroir. On peut installer l'héliostat et la chambre solaire de trois manières différentes :

1° On incline l'appareil d'agrandissement de manière que son axe optique coïncide avec l'axe de l'héliostat; ce moyen est peu pratique à cause de la hauteur qu'il faut donner au chevalet destiné à supporter le papier;

2° On rend les rayons réfléchis horizontaux à l'aide d'un second miroir, et cela dans une direction quelconque;

3° Enfin, la méthode la plus pratique consiste à rendre les rayons solaires réfléchis horizontaux par un miroir incliné à 45° par rapport à l'axe de l'héliostat, de manière à les réfléchir de l'est à l'ouest ou de l'ouest à l'est. Toutes les chambres solaires peuvent être installées de cette manière, pourvu qu'au-devant du porte-miroir il y ait un espace libre de 1m50 dans

tous les sens. L'héliostat réfléchissant les rayons solaires suivant le prolongement de son axe H, tout miroir employé à réfléchir une seconde fois les rayons dans une direction quelconque maintiendra ces rayons immobiles, puisque les premiers sont maintenus immobiles par l'héliostat lui-même. Le second miroir est celui-là même qui fait partie de l'appareil d'agrandissement. On dispose l'héliostat de façon à ce que la partie des rayons réfléchis par le centre du miroir de l'héliostat tombe exactement au centre de la glace du porte-miroir incliné à 45° sur l'axe de l'appareil optique.

On peut aussi employer un second miroir placé, non pas entre le conden-

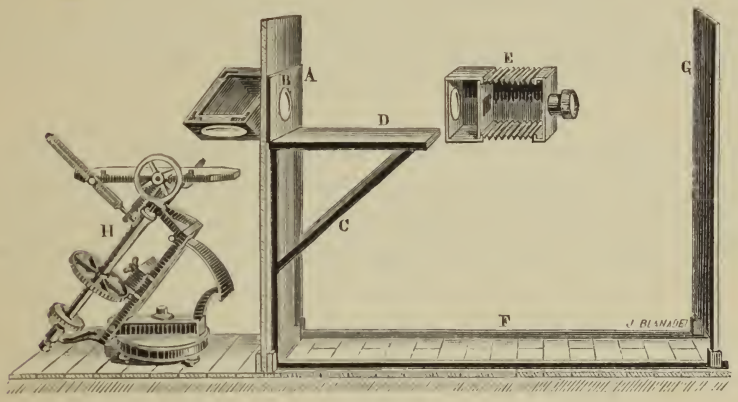


Fig. 592.

sateur et l'héliostat, mais disposé à 45° entre le condensateur et la lentille correctrice; dans ce cas, la chambre solaire est coudée comme l'indique la figure 592. Cet appareil est très facile à orienter et se manie de la même façon que la chambre solaire.

819. Chambres solaires sans réflecteur. — La réflexion des rayons solaires sur la surface du miroir leur fait perdre environ un huitième de leur intensité; pour éviter cette perte, plusieurs personnes ont supprimé le miroir et dirigent directement le condensateur vers le soleil.

Stuart[1] a construit une chambre solaire qui ne diffère de l'appareil de Woolward que par la suppression du miroir réflecteur ; à l'extrémité de la boîte opposée à la face qui porte le condensateur, il fixe un tronc de pyramide au fond duquel se trouve le châssis servant à supporter le papier sensible. Cet appareil est placé à l'abri du vent et on le fait mouvoir conformément à la marche du soleil à l'aide de deux mouvements, l'un horizontal, le second vertical.

Liébert[2] a construit un instrument assez semblable à celui de Stuart; mais il ne protège pas l'appareil contre le vent, car il admet que le négatif, l'ob-

1. *Bulletin belge de la photographie*, 1863, p. 285.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1864, p. 38.

jectif et l'image étant invariablement fixés, le vent ou les mouvements du sol faisant tout vibrer, l'image reste immobile. Il en serait ainsi dans le cas d'une source lumineuse liée au système, ce qui n'est pas le cas d'un appareil solaire.

Hermagis[1] a fait connaître, sous le nom de *méridien photographique*, un appareil du même genre que les précédents et qu'il est assez facile de manier : le miroir est placé entre le condensateur et le négatif.

L'inconvénient que présentent ces appareils provient de ce que le vent ou les trépidations du sol font vibrer la chambre solaire, et ce léger mouvement suffit pour enlever toute la finesse à l'épreuve agrandie ; de plus, afin d'avoir des instruments maniables, on leur donne une faible longueur, ce qui exige l'emploi de condensateur à court foyer et d'objectifs qui n'embrassent pas un angle suffisant : il se produit des phénomènes de diffraction qui enlèvent toute netteté à l'image agrandie.

820. Appareils à lumière solaire parallèle. — L'emploi de la lumière convergente pour éclairer le négatif destiné à être agrandi a été considéré comme défectueux par plusieurs auteurs. Bertsch[2] avait cru qu'il était nécessaire d'employer des condensa-

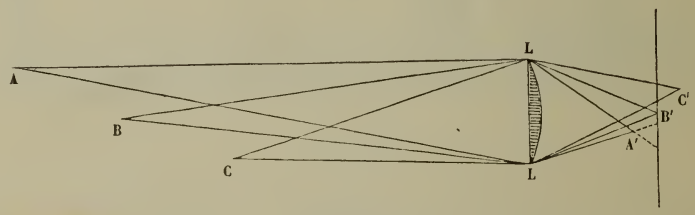


Fig. 593.

teurs achromatiques, mais Van Monckhoven[3] a montré qu'il suffisait que le condensateur fût exempt d'aberration sphérique et que l'objectif soit construit de manière à ne pas arrêter les rayons issus du condensateur pour que l'image agrandie soit assez nette. En effet, les images amplifiées fournies, l'une par une chambre solaire correctement construite avec condensateur de 0m108, et l'autre donnée par un appareil à lumière parallèle muni de lentilles de même diamètre, sont absolument identiques sous le rapport de la netteté.

Dans l'hypothèse qu'il était indispensable d'employer la lumière parallèle, Bertsch[4] a proposé d'adjoindre au condensateur unique de Woodward

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1865, p. 108.
2. *Ibid.*, 1860, p. 63.
3. Van Monckhoven, *Traité d'optique photographique*, p. 260.
4. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1860, p. 67.

deux lentilles de même verre, la première convergente, la seconde divergente, et placée à une distance telle de la première que les rayons solaires émergent du système à peu près parallèlement à l'axe principal des lentilles ; mais l'emploi de cette lumière n'a pas donné de bons résultats parce que l'aberration sphérique du système est considérable et qu'une grande partie des rayons lumineux sont arrêtés par l'objectif. Plus tard, Bertsch renonça à cet appareil et construisit un mégascope permettant d'agrandir

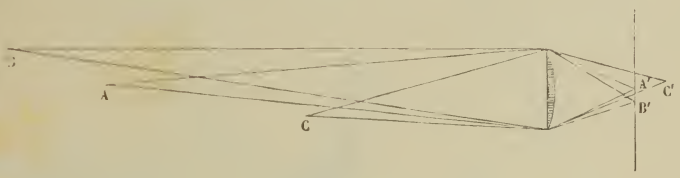


Fig. 594.

des négatifs de 0m06 de côté. Cette dimension de négatif a été adoptée par Bertsch, parce que pour avoir une image dans laquelle les divers plans ABC (*fig. 593*) soient également nets, il faut employer un objectif à foyer assez court et qui ne peut couvrir une grande surface ; si les plans les plus rapprochés C (*fig. 594*) sont situés à plus de cent fois la distance focale de l'objectif, les points A'B'C' seront également nets sur l'épreuve. Les négatifs destinés à l'agrandissement sont obtenus à l'aide d'une chambre automatique (*fig. 595*) donnant une image très nette sur un diamètre de 0,085, ce

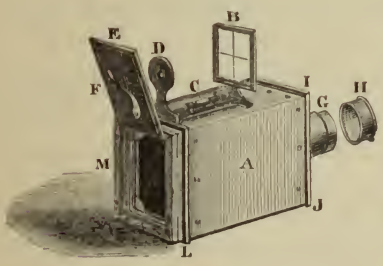


Fig. 595.

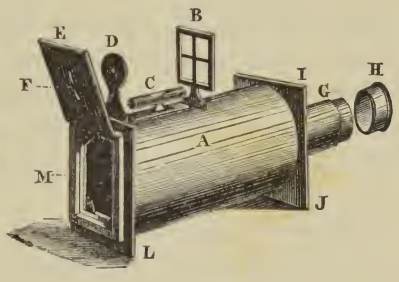


Fig. 596.

qui correspond à une glace de 0m06 de côté. Un niveau C sert à placer la chambre horizontalement et un viseur DB permet de choisir le paysage. La chambre automatique destinée au portrait (*fig. 586*) est construite sur le même principe et donne des images de la même dimension. Ces deux chambres noires sont entièrement en cuivre, afin que l'humidité ne puisse faire varier la mise au point établie une fois pour toutes.

L'appareil d'agrandissement se compose d'un porte-lumière ABC (*fig. 597*) que l'on fait mouvoir au moyen des pignons C et D. Le né-

gatif est fixé dans le cadre E qui s'introduit dans la fente O située à une certaine distance de la lentille H; on met au point l'image sur l'écran avec le bouton M qui commande une crémaillère fixée au tube de cuivre. Le foyer principal du système amplifiant se trouve en K; on place en ce point le draphragme *K'* qui est percé de deux ouvertures : l'une, *n*, est munie d'un verre jaune qui permet de voir si l'image est bien centrée sur le papier sensible; l'autre, *m*, donne

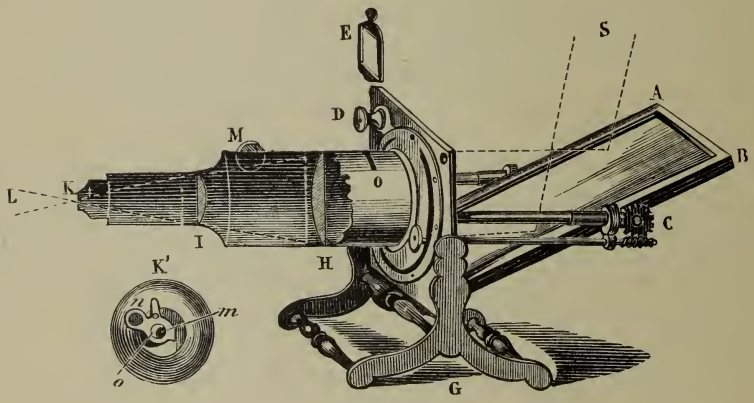


Fig. 597.

passage à la lumière; enfin, une partie *o* de cette pièce est pleine pour masquer complètement la lumière.

Les images amplifiées fournies par cet appareil sont extrêmement nettes, mais elles manquent d'intensité; aussi l'impression directe sur papier au chlorure d'argent est à peu près impossible par l'emploi de cet appareil.

L'image agrandie s'obtient sur papier à l'iodure d'argent par développement, ou mieux sur papier au gélatino-bromure. Le temps de pose est extrêmement court, et les mouvements qui résulteraient de ce que le porte-miroir est fixé à l'appareil optique n'ont aucune influence en pratique, car le temps de pose est si réduit que le soleil ne se déplace pas sensiblement pendant l'impression de l'épreuve.

Cette rapidité d'impression a été considérée par Bertsch comme indispensable à la netteté de l'image agrandie. D'après lui[1], le manque de netteté des épreuves amplifiées provient souvent des ébranlements occasionnés par les divers mouvements du sol et surtout de la marche du soleil. Van

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1860, p. 171.

Monckhoven, en se servant d'un héliostat d'une grande précision [1] et d'une chambre solaire dont le condensateur présentait une forte aberration sphé-

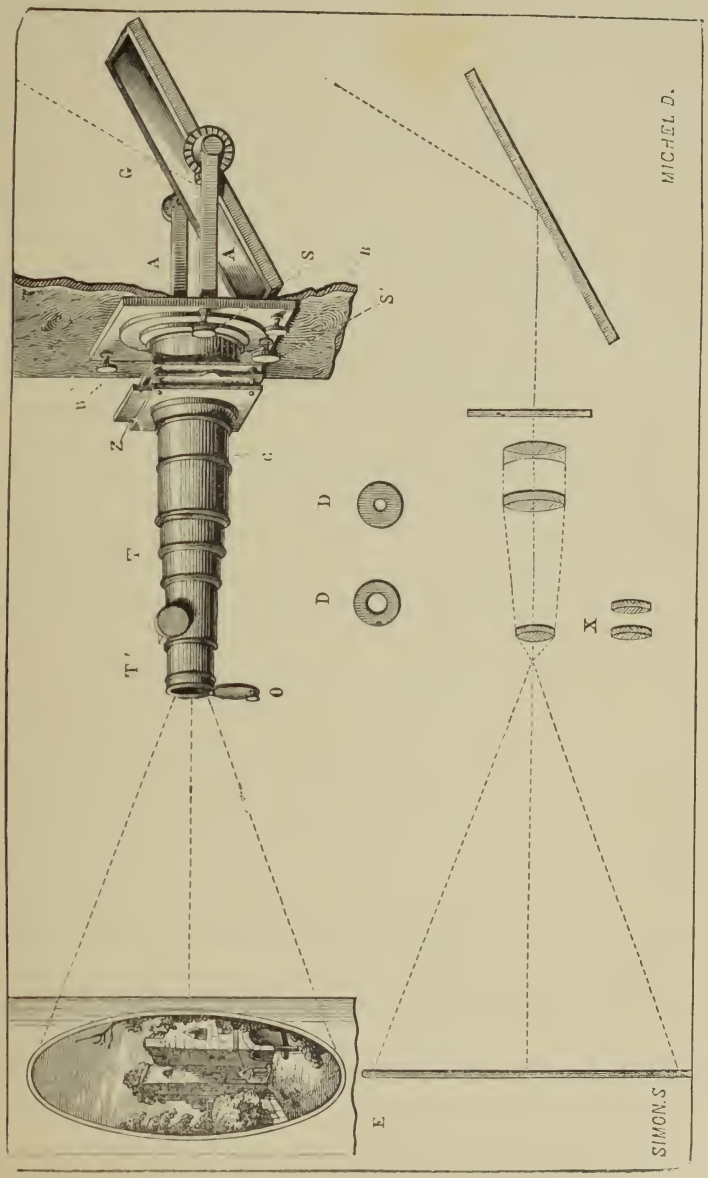


Fig. 598.

1. *Traité d'optique photographique*, p. 191.

rique, a montré que l'image amplifiée manquait de netteté, malgré la fixité des rayons solaires : c'est donc l'aberration de sphéricité qui est la cause du manque de netteté. Bertsch l'admettait implicitement, car il avait reconnu [1] que le meilleur système serait celui d'un condensateur à très long foyer qui éclairerait l'image. Dans le mégascope de Bertsch, l'aberration de sphéricité est sensiblement détruite, et c'est le premier appareil qui ait été construit dans ces conditions.

Ch. Chevalier [2] a construit un mégascope (*fig. 598*) composé de trois lentilles. Cet instrument n'a pas fourni de bons résultats, car, bien que les lentilles soient séparément achromatiques, l'aberration sphérique du système est considérable.

L'appareil de Colombi [3] rentre dans la catégorie des instruments à lumière parallèle. La disposition optique comprend un verre éclairant et deux objectifs placés à une distance constante; le négatif de $0^m07 \times 0^m08$ est placé près du verre éclairant; la mise au point s'obtient en rapprochant ou éloignant les objectifs du négatif. On peut employer cet appareil soit avec la lumière solaire, soit avec une forte lampe à huile ou à pétrole. Nous examinerons les appareils analogues à ce dernier en décrivant les instruments qui utilisent la lumière artificielle.

821. Essai des appareils d'agrandissement. — Un appareil d'agrandissement doit présenter la plus grande stabilité possible. S'il est destiné à être employé avec la lumière solaire, les diverses parties qui le composent doivent être ajustées avec le plus grand soin. Le bois doit, autant que possible, être proscrit de la construction de ces appareils, parce qu'ils résistent difficilement à la chaleur solaire et, dans tous les cas, le centrage des diverses pièces ne tarde pas à être dérangé, ce qui compromet les résultats. La partie la plus importante à vérifier est la partie optique. Il faut d'abord s'assurer que le système est exempt d'aberration sphérique *suivant l'axe;* dans ce but, on se sert de l'appareil comme si tout le système des lentilles formait un objectif de lunette. On pointe l'appareil sur des objets suffisamment éloignés et on examine l'image formée au foyer du système; on se sert pour cela d'un oculaire de lunette. Cet essai doit être fait en utilisant d'abord toute l'ouverture libre du grand condensateur, puis cette même ouverture réduite au dixième par un diaphragme placé à une certaine distance de la grande lentille; dans les deux cas, l'image centrale doit avoir sensiblement la même netteté; nous devons ajouter qu'il est peu d'appareils qui subissent cet examen avec succès.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1860, p. 287.
2. *Ibid.*, 1863, p. 332.
3. *Ibid.*, p. 278.

Les bulles, fils et autres défauts du condensateur n'ont pas une grande importance. Le verre doit être aussi blanc que possible, car une lentille colorée en jaune ou en vert arrête une quantité de lumière considérable.

L'objectif doit laisser passer librement le cône des rayons solaires qui émerge du condensateur. On s'assure que le champ est suffisamment plat en reproduisant à petite échelle l'image d'une grande feuille de papier quadrillé et se servant du négatif obtenu placé dans l'appareil d'agrandissement pour étudier les variations de la netteté du centre aux bords du champ, la distorsion, etc.

On peut améliorer les appareils d'agrandissement qui sont défectueux en plaçant un diaphragme entre le condensateur et le négatif; ce diaphragme limite l'image à la partie qu'il convient de reproduire et doit être appliqué presque au contact du négatif. Il est bon, lorsque la lumière solaire n'est pas très vive, d'employer un diaphragme que l'on place à quelques centimètres de la lentille *antérieure* de l'objectif, par conséquent entre l'appareil et l'image amplifiée; ce diaphragme a pour but d'écarter la lumière diffuse qui vient troubler la netteté de l'épreuve. Il est souvent indispensable d'employer ce dispositif qui manque dans bien des appareils d'agrandissement, mais qu'il est facile d'adapter sur le parasoleil de l'objectif.

§ 2. — PROCÉDÉS PAR DÉVELOPPEMENT.

822. Procédés photographiques. — Pour obtenir une image amplifiée, on peut employer tous les procédés photographiques usités pour le tirage des épreuves positives. On s'est d'abord servi de papier préparé à l'iodure ou au bromure d'argent (**537** à **540**), mais le ton froid que présentait l'image obtenue par ce moyen a fait rapidement abandonner ce mode de tirage. Le papier préparé au citrate et au chlorure d'argent, puis développé à l'aide de l'acide gallique, a donné d'assez bons résultats; mais c'est avec le papier préparé au nitroglucose qu'ont été obtenues le plus facilement de belles épreuves.

Le papier préparé par l'un de ces procédés est tendu sur une planchette que l'on porte sur le chevalet de l'appareil d'agrandissement; la durée du temps de pose varie avec l'amplification que l'on veut obtenir. Quelques essais exécutés avec de petits fragments de papier indiqueront très vite quelle est la durée du temps de pose qu'il convient d'adopter pour des négatifs de même qualité.

Le maniement du papier dans les divers bains nécessite certaines précautions si la feuille de papier dépasse la dimension de $0^m47 \times 0^m57$. Le papier imbibé d'eau peut se déchirer si on le soulève par un angle; il vaut mieux appliquer une règle de bois sur l'un des bords de la feuille qu'on replie autour de la règle. On peut alors enlever avec précaution le papier; lorsqu'il est hors du bain, le bord de la feuille adhère fortement à la règle, et on peut transporter l'épreuve dans les différentes solutions. Pour faire sécher le papier, on serre la règle entre deux pinces américaines et on la suspend. Il est bon d'avoir pour chaque bain une règle spéciale; chaque règle aura une largeur de 0^m02, une épaisseur de 0^m008, et sa longueur dépassera de 0^m06 à 0^m08 la longueur du petit côté de l'image.

Villette [1] obtenait des images amplifiées sur collodion. Il se servait du collodion destiné aux positives sur verre, l'étendait sur une grande glace, le sensibilisait, l'exposait sur l'écran portant l'image amplifiée, développait à l'acide pyrogallique qui devait faire apparaître lentement l'image et fixait avec le cyanure de potassium; après lavages, l'épreuve était virée au chlorure d'or, lavée, puis on appliquait une feuille de papier gélatinée sur la couche de collodion; on rabattait les bords de la feuille de papier sur le revers de la glace, on laissait sécher et on séparait l'image d'avec le verre.

823. Emploi du papier au gélatino-bromure d'argent. — On peut employer le papier au gélatino-bromure d'argent avec l'appareil solaire; mais il faut diminuer considérablement la lumière transmise par le condensateur, soit en interposant en avant de celui-ci une glace recouverte d'une couche de collodion à l'aurine ou à la fuchsine, soit, ce qui vaut mieux, en diaphragmant fortement le condensateur et en employant un objectif à long foyer pour projeter l'image. Lorsque le négatif se trouve placé assez près de la lentille condensatrice l'intensité de la lumière est relativement faible. On se sert d'un objectif à long foyer, qui est alors librement traversé par le cône des rayons solaires; l'image obtenue par ce moyen est très nette : elle s'obtient instantanément, et le révélateur doit contenir une forte quantité de bromure pour que les blancs soient bien conservés.

Le papier au gélatino-bromure d'argent est généralement employé

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1865, p. 149.

avec les appareils fonctionnant à l'aide de la lumière artificielle. En décrivant l'emploi de ces appareils, nous indiquerons comment il convient de se servir de ce papier.

§ 3. — PROCÉDÉ PAR NOIRCISSEMENT DIRECT.

824. Emploi du papier albuminé. — Le papier albuminé sensibilisé est préalablement soumis aux vapeurs ammoniacales, puis immédiatement livré à l'impression. Pendant que l'on fixe le papier sur le chevalet de l'appareil d'agrandissement, on interpose un verre jaune au-devant de l'objectif; on peut, de cette manière, juger de la situation occupée par l'image; on rectifie la position du miroir, on retire le verre jaune et on laisse agir la lumière. De temps en temps on glisse un verre dépoli entre l'objectif et l'image; on arrête l'impression lorsque l'épreuve est suffisamment foncée.

Les épreuves amplifiées sur fond blanc s'obtiennent très facilement de la manière suivante : on découpe un petit ovale dans un grand carton (ce dernier doit être plus grand que la feuille de papier sensible), on suspend ce carton à deux ficelles attachées au plafond, on fixe à la partie inférieure du carton un poids assez considérable et on lui imprime un mouvement d'oscillation qui permet d'obtenir une teinte fondue tout autour du sujet principal.

825. Agrandissement sur toile à peindre. — On a d'abord proposé d'étendre sur toile à peindre une couche d'albumine chlorurée, de sensibiliser cette toile et de la traiter comme le papier albuminé; puis on a employé le collodio-chlorure d'argent étendu à la surface de la toile. La couche sèche est exposée aux fumigations ammoniacales, puis placée sur la planchette du chevalet servant à l'exposition; lorsque l'image est complètement imprimée, on verse à sa surface une solution concentrée de sulfocyanure d'ammonium, on lave soigneusement, on laisse sécher. L'inconvénient que présente le procédé réside en ce que la couche de collodion se soulève quelquefois lorsque la peinture est terminée; c'est pour ce motif que l'on préfère généralement employer le procédé au charbon. On se sert de la toile à peindre exactement comme du papier simple transfert; l'image est dépouillée à l'eau chaude comme à l'ordinaire. L'image sera dans son vrai sens si le côté de la couche sensible du négatif a été tourné vers le condensateur pendant l'impression du négatif.

§ 4. — AGRANDISSEMENTS PAR LE PROCÉDÉ AU CHARBON.

826. Insolation. — La feuille mixtionnée et sensibilisée est fixée sur la planchette et on couvre les bords du papier avec des lames de carton bristol que l'on fixe à l'aide de punaises de cuivre. Le photomètre se place sur un des cartons bristol qui couvrent les bords du papier au charbon, en évitant qu'il ne reçoive la lumière des bords extérieurs du condensateur. Pour déterminer le degré photométrique convenable à l'amplification, il est nécessaire de faire un essai si l'on n'a pas l'habitude de ce genre d'impression. Cet essai doit être fait en variant les temps d'exposition afférents à trois ou quatre portions différentes de l'image.

Quand le degré photométrique est connu pour la distance à laquelle on doit opérer, on procède comme d'habitude et on vérifie de temps à autre le photomètre pour arrêter l'action de la lumière au moment où est atteint le degré préalablement noté. Le numéro photométrique d'un négatif soumis à l'agrandissement n'a de valeur que pour une distance focale déterminée. Si l'on désire imprimer du même négatif des images de dimensions différentes, il y a lieu de faire autant d'essais qu'il y a d'amplifications diverses[1].

L'avantage que présente l'emploi du papier au charbon, au point de vue de la pratique des agrandissements, réside dans la grande sensibilité du papier mixtionné.

Les images agrandies se dépouillent et se traitent d'après les procédés usuels particuliers à ce mode de tirage (**657**).

BIBLIOGRAPHIE.

Barreswil et Davanne. *Chimie photographique.*
Van Monckhoven. *Traité d'optique photographique.*

1. L. Vidal, *Bulletin belge de la photographie*, 1869, p. 215.

CHAPITRE III

PROCÉDÉ INDIRECT.

§ 1. — EMPLOI D'UN GRAND NÉGATIF.

827. Méthode générale. — La méthode indirecte d'agrandissement consiste à faire du petit négatif un positif sur verre : ce positif est ensuite agrandi, soit à l'aide de la chambre noire, de l'appareil de Bertsch ou de tout autre appareil permettant l'amplification. Le grand négatif obtenu est retouché et peut servir au tirage d'un nombre quelconque de positives.

Le nombre des opérations à faire est plus considérable par ce procédé que par la méthode directe : aussi l'image amplifiée est généralement moins nette que lorsqu'elle est obtenue directement. Dans ce dernier cas, il n'y a pas, en effet, de perte de finesse, tandis que dans la production du premier positif la netteté est presque toujours diminuée, et l'image positive agrandie est moins nette que si l'on avait amplifié le négatif.

828. Emploi de la chambre noire. — Les opérations de l'agrandissement peuvent se faire dans un local quelconque avec un appareil spécial, ou bien dans un laboratoire obscur en employant le matériel usuel.

La chambre noire spéciale, dite à transparent, se compose d'une chambre noire dont une des faces A (*fig. 599*) est vide, et l'autre B fermée par une série d'intermédiaires pouvant contenir dans leurs rainures les plaques photographiques de format courant. On place le négatif dans cet intermédiaire, la couche tournée vers l'intérieur de la chambre noire ; à l'extérieur de l'intermédiaire on applique un verre dépoli. Le cadre A de la chambre à transparent porte deux

crochets (*fig. 600*) qui permettent de fixer cette chambre à une seconde chambre ordinaire d'atelier et munie d'écrous correspondant exactement aux crochets placés en A ; on peut ainsi relier les côtés A et A′. La glace dépolie de la chambre d'atelier et le châssis à épreuves se placent en B′ (*fig. 601*). On détermine d'abord la dimension de

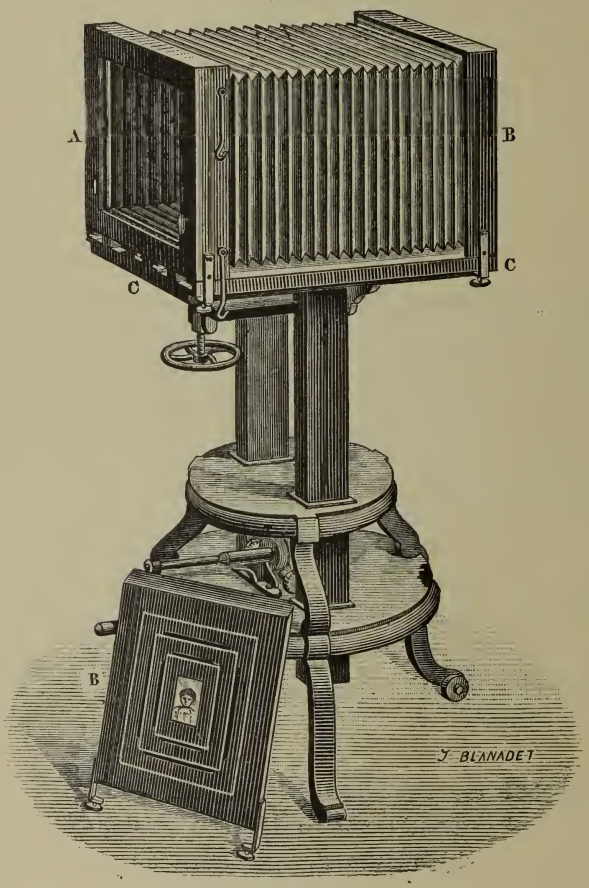


Fig. 599.

l'épreuve à obtenir en laissant fixe la partie B et avançant ou reculant la partie AA′ ; on achève la mise au point à l'aide de la crémaillère qui fait mouvoir la partie B′.

Mendozza a construit pour cet objet un appareil qui consiste en un cadre muni d'intermédiaires dans lesquels se place le négatif à agrandir ; ce cadre est fixé à un support à coulisse, support glissant

sur une règle qui elle-même peut se fixer à une chambre quelconque. Afin d'éviter toute lumière latérale, on recouvre d'un voile noir l'intervalle compris entre le cadre et la chambre noire. Pour obtenir une

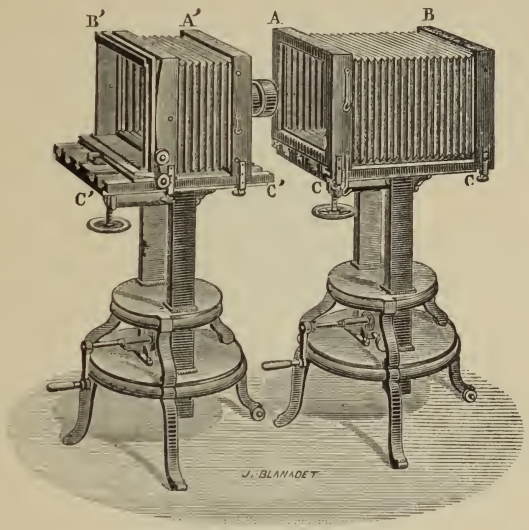


Fig. 600.

image brillante, il est indispensable que la lumière pénètre uniquement à travers le négatif à amplifier. Ce dernier doit être éclairé d'une

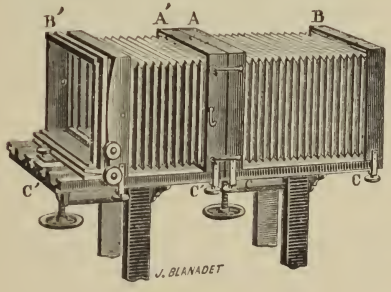


Fig. 601.

manière plus ou moins intense, suivant sa nature, mais dans tous les cas il doit l'être uniformément.

Le matériel ordinaire des photographes peut être employé pour l'agrandissement, à la condition d'opérer de la manière suivante.

Dans un laboratoire éclairé par deux fenêtres dont les carreaux transparents sont remplacés par deux verres rouges, on place une chambre noire en face de l'une des fenêtres; à l'extérieur de cette fenêtre on adapte une glace de $0^m50 \times 0^m80$ environ, on incline cette glace de façon à ce que la surface réfléchissante envoie la lumière du ciel dans le laboratoire, tout en faisant un angle de 45° avec l'horizon. Ce dispositif s'obtient très facilement à l'aide d'un miroir ordinaire monté

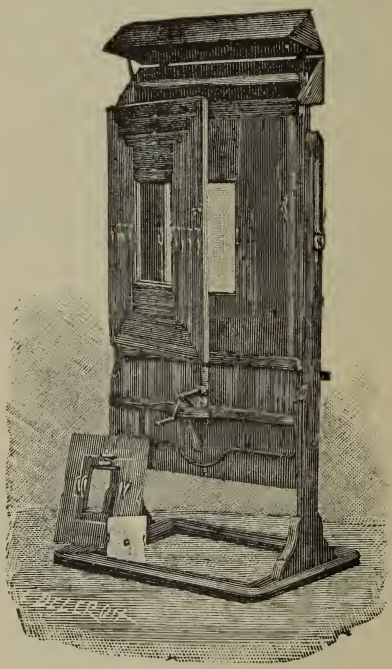


Fig. 602.

dans un cadre en bois; on fixe deux pitons à l'une de ses extrémités, deux autres pitons sont vissés dans le bois de la fenêtre, et on passe dans les anneaux une tringle de fer sur laquelle le réflecteur peut basculer à volonté au moyen d'une corde que l'on attache à l'un des angles situés à l'autre extrémité du miroir; cette corde communique à l'intérieur du laboratoire par un trou placé à la partie supérieure de la fenêtre. Le carreau transparent en face de ce réflecteur est supprimé et occupé par une petite chambre à soufflet, monté sur un pied d'atelier. Le cadre postérieur de cette chambre noire est muni d'un châssis avec une série d'intermédiaires permettant d'employer les

négatifs de divers formats. La partie antérieure de la chambre noire, celle qui regarde l'intérieur du laboratoire, est munie d'un objectif pouvant couvrir *à toute ouverture* une dimension de plaque ayant même surface que le négatif à agrandir; c'est ainsi que, pour amplifier une image de la dimension $0^m09 \times 0^m12$, on se servira d'un aplanétique de 0^m18 à 0^m25 de foyer.

L'image amplifiée est reçue sur un chevalet universel (*fig. 602*) pouvant se mouvoir sur rails et muni de vis calantes à l'un des pieds; des intermédiaires correspondant aux divers formats de glaces peuvent se placer sur ce chevalet.

829. Production du positif. — Les appareils que nous venons de décrire permettent d'obtenir, en partant d'un petit négatif, une positive transparente de même dimension ou de dimensions plus grandes que celle de l'original. Si l'on opère sur glace au gélatino-bromure d'argent, il est bon d'obtenir le positif aussi grand que possible pour éviter la perte de finesse provenant de la grosseur du grain; dans tous les cas, ce positif doit être très doux, très détaillé, absolument exempt de voile et peu intense. Tout procédé permettant d'obtenir un positif de cette nature pourra être employé.

Le positif par transparence peut s'obtenir par contact en plaçant une glace préparée soit au collodio-chlorure, soit au gélatino-chlorure en contact avec le négatif; mais par ce procédé il y a toujours perte de netteté parce que le contact n'est jamais parfait entre les surfaces.

Il vaut mieux opérer par le procédé du collodio-chlorure étendu sur papier gommé ou du papier albuminé étendu sur caoutchouc, comme l'a indiqué Willis[1]; on reporte ensuite l'image sur glace mince. Par l'emploi de ce procédé, le contact entre le négatif et la surface sensible est plus parfait. Il en est de même si l'on imprime la positive transparente, soit par le procédé au charbon, soit à l'aide du transferotype paper de la Compagnie Eastmann, soit enfin à l'aide de pellicules souples préparées au gélatino-bromure d'argent. Quel que soit le moyen employé, il faut produire une image aussi détaillée que possible et peu intense.

L'inconvénient du procédé par contact réside en ce que le positif obtenu est de même dimension que l'original, ce qui dans bien des cas oblige de rejeter cette méthode, par exemple lorsqu'il s'agit

1. *Bulletin belge de la photographie*, 1872, p. 209.

d'agrandir un négatif de la dimension $0^m18 \times 0^m24$ ou au-dessus à l'aide d'un appareil d'agrandissement.

830. Amplification du positif. — L'image positive est placée dans le cadre intermédiaire convenable; on approche ou l'on éloigne l'objectif de l'image à amplifier jusqu'à ce que l'on obtienne sur la glace dépolie la dimension d'image que l'on désire, on remplace alors la glace dépolie par le châssis négatif dans lequel on a disposé une glace *polie* à la place même que doit occuper la surface sensible. Sur cette glace polie se trouve une série de traits tracés au diamant; ils servent à régler d'abord la mise au point d'une forte loupe. C'est à l'aide de cette loupe ainsi réglée qu'on examine (en l'appliquant sur la glace) l'image amplifiée. Lorsque la mise au point est exacte, on remplace la glace par la surface sensible (plaque au gélatino-bromure) que l'on dispose dans le même châssis.

Si la surface sensible destinée à fournir le grand négatif est une surface souple telle que le papier, pellicule, etc. (ce qui est avantageux, car les grandes plaques préparées par le commerce sont sujettes à se casser dans les châssis-presses par suite du manque de planité), on opère différemment. La surface souple est d'abord immergée dans l'eau de façon à ramollir la gélatine; ce résultat étant atteint, on applique la pellicule ou le papier contre la glace qui a servi à faire la mise au point; il faut que la surface préparée soit en regard de l'objectif.

Lorsqu'on emploie une chambre ordinaire et un chevalet d'agrandissement, la mise au point est assez délicate à effectuer, car l'opérateur se trouve à une certaine distance de l'image amplifiée. On reçoit cette image sur une feuille de papier blanc préalablement mouillée que l'on applique sur une glace, qui sera remplacée par la préparation sensible.

Le positif à agrandir doit être entouré d'un cadre de papier noir et ne laisser passer que la lumière qui a traversé sa surface; cette condition est absolument indispensable.

§ 2. — EMPLOI D'UN POSITIF DE GRANDE DIMENSION.

831. Procédé Carette. — Les défauts de l'image positive sont considérablement amplifiés quand on agrandit cette image; il semble donc préférable de faire un grand positif de la dimension exacte de

l'épreuve définitive. Ce procédé est pratiqué avec succès par M. Carette, de Lille. Il prépare d'abord, par le procédé au gélatino-bromure, un grand positif par transparence, bien détaillé et très doux; ce positif, lorsqu'il est sec, est retouché par les procédés usuels et sert à produire le grand négatif; ce dernier est obtenu par l'emploi du procédé au charbon.

Carette se sert du papier mixtionné spécialement préparé pour négatifs; c'est un papier qui contient une très forte quantité de matière colorante. La sensibilisation de ce papier se fait à l'aide du bain ordinaire de bichromate de potasse; mais, pour avoir une image assez intense, il faut l'exposer derrière le positif, dans un châssis-presse, le double ou le triple du temps nécessaire pour obtenir une positive ordinaire; après l'insolation, on fait adhérer la mixtion au verre et on la dépouille d'après les procédés ordinaires.

Si le négatif ainsi obtenu ne présente pas l'intensité suffisante, on peut le renforcer à l'aide des trois solutions suivantes : A) eau, 1 litre; sulfate de *peroxyde* de fer, 40 grammes; B) eau, 1 litre; carbonate de soude pur, 20 grammes; C) eau, 1 litre; acide gallique, 10 grammes. Le négatif, dépouillé de l'excès de gélatine, est immergé dans le premier bain pendant cinq minutes, puis lavé légèrement à l'eau ordinaire; on l'immerge ensuite pendant six à sept minutes dans le second bain et on lave. Il faut éviter de prolonger pendant trop longtemps l'immersion dans ce second bain, sans quoi la couche pourrait se soulever. On immerge enfin la plaque dans le bain d'acide gallique et on la laisse dans ce bain pendant un temps variable, suivant l'intensité que l'on veut obtenir. Le ton du négatif est d'un beau violet foncé, assez semblable à celui des négatifs au collodion humide, développés à l'aide de l'acide pyrogallique mélangé d'acide citrique. Le négatif est retouché, et peut alors servir à l'impression d'un nombre quelconque de positives.

832. Procédés divers. — Le grand négatif peut être produit à l'aide d'un procédé quelconque permettant d'obtenir une surface sensible. On peut faire ce négatif soit sur une glace préparée au gélatino-bromure, au collodio-chlorure, au collodion sec, etc. Chacun de ces procédés permet de modifier la nature de l'image obtenue; grâce à la retouche du grand positif, on peut tirer parti de bien des négatifs qui seraient inutilisables par le procédé d'agrandissement direct.

Cette retouche, soit du grand positif, soit du négatif, peut s'exécuter d'une façon spéciale pour les portraits. On colle sur les deux faces du verre une feuille de *papier à copier les lettres;* ce papier doit avoir été préalablement

imbibé d'eau; c'est lorsque l'eau a été complètement épongée que l'on applique la feuille sur le négatif dont les bords sont recouverts de gomme arabique. Lorsque le papier est bien sec, les deux surfaces doivent être parfaitement tendues et l'on peut exécuter la retouche à l'aide de plombagine et d'estompe en papier gris ou en peau. S'il s'agit de retoucher de grandes surfaces, on passe la plombagine à l'aide d'une peau de chamois; on se sert du crayon pour indiquer les contours délicats qui doivent être nettement tranchés. Le travail se fait très vite et il n'est pas besoin de prendre de grandes précautions, car la lumière est tamisée par les deux épaisseurs de papier qui couvrent le négatif; dans ce cas, la retouche s'harmonise facilement avec l'image. On peut coller au dos du négatif une seconde feuille de papier, soit sur toute sa surface, soit seulement sur une portion qui demande à être éclaircie, et on renforce de nouveau avec l'estompe imprégnée soit de sanguine, soit de plombagine.

Si l'on veut changer complètement le fond d'un portrait, on opère de la manière suivante : on place une feuille de papier jaune sur le négatif, du côté de la couche sensible, et, plaçant le tout sur le pupitre à retouche, on trace au crayon les contours de l'image que l'on veut conserver; on découpe ensuite ces contours en se servant de la pointe d'un canif que l'on affûte très souvent; on obtient ainsi deux silhouettes. Celle qui est extérieure est collée par les bords sur le côté opposé à la couche constituant l'image; elle sert de *cache* et préservera le fond de l'insolation; on fait les raccords nécessaires entre cette silhouette et l'image en se servant de l'estompe et du crayon. On peut alors imprimer l'image; le fond sera préservé de l'insolation pendant que le restant de l'épreuve pourra être imprimé à la valeur nécessaire; elle est alors retirée du châssis et placée à plat, face en dessus sur une glace forte. On applique sur l'épreuve le négatif représentant le fond que l'on veut obtenir, la couche portant l'image étant en contact avec la surface de l'épreuve. La silhouette intérieure, primitivement obtenue, est découpée de manière à enlever deux à trois millimètres sur ses bords (plus ou moins, suivant l'épaisseur du verre qui porte le négatif); cette silhouette est appliquée sur l'image; on fait une seconde silhouette, de dimension exacte, que l'on applique sur une grande glace; on adoucit avec de la couleur passée sur le verre les contours trop durs de cette silhouette; on passe cette couleur avec un petit tampon de linge de manière à ne pas avoir de contours trop durs. On peut ménager des effets de lumière pendant l'impression en promenant un morceau de carton arrondi sur certaines parties que l'on veut préserver pendant que les autres s'impriment et prennent une plus grande intensité. L'impression par ce procédé exige un certain sentiment artistique de la part de l'opérateur pour obtenir une mise à effet satisfaisante.

Despaquis [1] a proposé d'opérer de la manière suivante : l'image projetée par l'appareil d'agrandissement est reçue sur un verre très finement dépoli; sur cette image ainsi projetée, on fait, à l'aide du pinceau, de l'estompe ou de tout autre moyen, les retouches que l'on juge nécessaires; l'opérateur peut recommencer et effacer sans crainte d'altérer soit le négatif, soit le positif. Lorsque la retouche est complète et que l'image vue par transparence paraît bien modelée, on applique contre le verre dépoli la surface sensible

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1873 p. 136.

sur laquelle on veut obtenir l'image; au lieu de verre dépoli, il est mieux d'employer une glace transparente doublée d'une feuille de papier mince. L'épreuve imprimée à l'aide de l'appareil solaire sera donc retouchée, et cette retouche devient invisible, car le passage de la lumière à travers le verre et, au besoin, à une faible distance entre la surface opaline et la couche sensible, font disparaître toute trace de coup de pinceau ou d'estompe. Despaquis a constaté que si l'on reçoit la projection de l'image sur une glace étamée inclinée à 45°, placée le plus près possible de la surface sensible, on peut opérer très facilement la retouche sur l'image réfléchie sur cette glace, et son effet est très bien reproduit sur l'épreuve définitive obtenue sur la couche sensible placée sur l'écran. Il a fait construire un appareil permettant d'utiliser ce procédé. L'instrument[1] consiste en un châssis qui peut s'adapter aussi bien à une chambre noire destinée à la reproduction qu'à un appareil d'agrandissement ordinaire; ce châssis peut servir lorsque le négatif est éclairé par la lumière solaire ou artificielle aussi bien que s'il est éclairé par la lumière diffuse. Lorsque le négatif est éclairé par la lumière solaire, le châssis destiné à recevoir l'image amplifiée se place parallèlement à l'axe de l'objectif; l'image est réfléchie par une glace étamée inclinée à 45° par rapport à l'axe de l'appareil, et vient se former sur le verre dépoli placé sur le côté de l'ensemble de l'appareil. On peut retoucher l'image sur la glace étamée; dans ce but, on applique de la couleur de gouache sur la glace étamée; on peut aussi faire certaines retouches sur la glace dépolie. La surface sensible sur laquelle doit se former l'épreuve est ensuite amenée au contact du verre dépoli à travers lequel se fait l'impression. Si l'on fait usage de lumière diffuse pour éclairer le négatif, l'image ne se dessine pas avec une netteté suffisante sur la glace étamée pour pouvoir l'utiliser pour les retouches. Le châssis se place alors perpendiculairement à l'axe de l'objectif, on supprime la glace étamée et la retouche se fait en entier sur le verre dépoli enduit d'une substance adhésive quelconque. Ce verre dépoli doit être du grain le plus fin possible; on peut se servir d'une feuille de gélatine légèrement opaline.

Liébert[2] a fait construire un appareil assez semblable au précédent. Il se sert d'un positif obtenu par l'emploi du collodio-chlorure : il le transforme en négatif agrandi. Il a trouvé avantageux de substituer à la glace dépolie interposée un positif obtenu sur glace opale polie d'un côté et doucie de l'autre. Si l'on prend du verre ordinaire, toutes les aspérités qui se trouvent sur la surface non polie se reproduisent sur l'image définitive.

Verneuil[3] obtenait du négatif un petit positif par transparence qu'il agrandissait par l'emploi du collodion humide; le positif était placé à quatre ou cinq centimètres d'un verre dépoli et l'image était projetée à l'aide d'un objectif à portraits qu'il employait retourné. Cette méthode permet d'opérer en l'absence du soleil; elle a été recommandée par Dallmeyer, qui se servait d'un triplet pour projeter l'image.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1873, p. 291.
2. *Ibid.*, 1873, p. 294.
3. *Ibid.*, 1865, p. 202.

§ 3. — AGRANDISSEMENT DES OBJETS OPAQUES.

833. Agrandissement des positives sur papier. — L'agrandissement des objets opaques, autres que les cartes, plans, photographies sur papier, ne se fait presque jamais. Il est, en effet, très difficile d'obtenir une certaine profondeur de foyer lorsqu'on se sert d'un objectif pour obtenir la reproduction à grandeur égale d'une surface dont les reliefs sont assez prononcés. Le plus souvent l'agrandissement des corps opaques se borne à l'amplification des épreuves positives sur papier. Cette opération s'effectue en éclairant fortement l'image que l'on reproduit à la chambre noire à l'aide d'un objectif convenable; on obtient ainsi un grand négatif qui peut être imprimé par tous les procédés usuels.

834. Éclairage de l'objet. — L'épreuve photographique à reproduire est placée verticalement sur un chevalet assez semblable à ceux qui servent à obtenir les reproductions. Si l'épreuve photographique n'est pas collée sur bristol, on la mouille et on applique la surface de l'image contre une glace préalablement cirée ; on diminue ainsi le grain du papier. Afin de rendre ce défaut encore moins apparent, on se sert d'un appareil renvoyant la lumière dans plusieurs directions sur l'épreuve : c'est un tronc de pyramide quadrangulaire dont les faces sont inclinées à 45° sur la base ; ce tronc de pyramide peut être construit soit en carton blanc, ou mieux en bois revêtu intérieurement d'une mince couche de plâtre blanc ; l'épreuve à reproduire se place au fond de cet appareil : la lumière, en se réfléchissant dans tous les sens sur les parois blanches de l'intérieur de l'appareil et de là sur l'image à copier en rend le grain presque invisible.

S'il s'agit d'agrandir une ancienne épreuve sur plaqué d'argent, il faut absolument éviter l'image réfléchie de la monture en cuivre de l'objectif ou de la partie antérieure de la chambre noire. Ces épreuves sont presque toujours altérées et deviennent de plus en plus rares : on commence par les nettoyer en les trempant pendant quelques instants dans de l'alcool à 40°, puis dans une dissolution contenant 2 grammes de cyanure de potassium et 100 c. c. d'alcool ; l'épreuve se nettoie dans ce bain, on lave la plaque à l'eau ordinaire, puis à l'eau distillée, et on la laisse sécher à l'abri de la poussière ; on l'applique ensuite sur

la planchette du chevalet d'agrandissement et on l'entoure avec un large cône de papier dioptrique diffusant partout une lumière égale ; on tend au-devant de la chambre noire un voile de velours noir qui ne laisse passer que l'ouverture de l'objectif.

Les médailles, camées, etc., seront autant que possible éclairés par des rayons lumineux faisant un angle de 45° avec l'axe de l'objectif : l'épreuve présentera ainsi un aspect de relief considérable plus que si l'éclairage venait dans la direction de l'axe de l'objectif.

835. Chambre noire. — La chambre noire doit posséder un long tirage. Le modèle dit *à reproductions* ou chambre universelle (tome I, 215, figure 179) doit être muni soit d'une crémaillère, soit d'une vis sans fin permettant de mettre au point avec facilité; le tirage du soufflet sera de deux mètres environ. On peut augmenter la longueur de cette chambre noire en plaçant à l'avant soit un tronc de pyramide à base carrée, soit une petite chambre noire à soufflet et à long tirage; cette chambre doit être supportée par un pied d'atelier extrêmement solide et présentant une large base afin d'éviter les trépidations.

836. Objectif. — L'objectif destiné à amplifier l'épreuve doit donner à *toute ouverture*, et sur son plan focal principal, une image nette dont les dimensions doivent être au moins égales à celles de l'image à agrandir ; c'est ainsi que, s'il s'agit d'agrandir une image de $0^m08 \times 0^m08$, on se servira d'un aplanétique couvrant *nettement* cette dimension à toute ouverture, c'est-à-dire d'un objectif ayant environ 0^m18 à 0^m22 de foyer; une image de la grandeur quart de plaque ($0^m09 \times 0^m12$) nécessitera l'emploi d'un objectif de 0^m27 de foyer. On pourrait à la rigueur employer des objectifs de foyer plus court; mais l'on est alors obligé d'ajouter à l'objectif de petits diaphragmes si l'image amplifiée n'est pas assez nette; l'éclairage est souvent difficile. L'un des moindres inconvénients de cette manière d'opérer réside dans la longueur exagérée du temps de pose : on atteint d'ailleurs très vite la limite à laquelle la diminution de l'ouverture du diaphragme augmente la netteté, mais les objectifs à long foyer exigent une chambre noire d'une longueur énorme pour que l'amplification de l'image soit un peu forte. L'image amplifiée et l'objet sont liés par la loi des points conjugués (**172-173**) ; à mesure que l'on agrandit l'image D de l'objet C, la distance de C à l'objectif AB (*fig. 603*) diminue et celle de D à AB augmente ; cette dernière ne peut pas aug-

menter beaucoup, elle a pour limite la longueur du tirage de la chambre noire. Il est clair que si l'on détermine la limite maxima de ce tirage, la plus grande amplification sera fournie par l'objectif dont le foyer sera le plus court : ainsi donc, s'il s'agit d'agrandir considérablement, on emploiera de petites images et des objectifs à foyer très court pour pouvoir opérer pratiquement.

L'objectif aplanétique suivant l'axe peut être un triplet, un objectif double à portraits, symétrique, rectilinéaire. Ces derniers objectifs sont symétriques et peuvent être employés sans qu'il soit utile de les retourner dans leur monture. Mais le triplet et l'objectif double doivent être retournés de telle façon que la lentille antérieure, celle qui

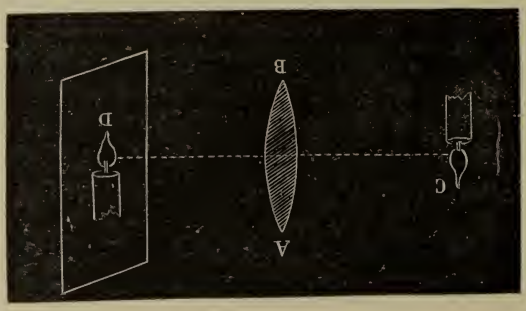


Fig. 603.

ordinairement regarde l'objet à reproduire, soit au contraire en regard de l'écran ; il vaut mieux employer les objectifs symétriques qui n'introduisent pas de distorsion dans l'image agrandie.

837. Procédé opératoire. — L'épreuve est convenablement éclairée après qu'elle a été fixée sur un châssis vertical. On approche du centre de l'image la chambre noire disposée horizontalement ; l'axe optique de l'objectif doit rencontrer le centre de l'objet à agrandir ; on met au point en regardant l'image sur le verre dépoli. Si les dimensions de cette image sont trop petites, on rapproche l'objectif de l'objet à amplifier et on augmente le tirage de la chambre noire ; si elle est trop grande, on fait le contraire. On exécute donc une série de tâtonnements extrêmement fastidieux et que l'on évite complètement en se servant des tableaux **172-A** et du graphique **173**. Connaissant exactement la distance focale principale de l'objectif employé, on détermine immédiatement la distance de l'objet à l'ob-

jectif et de la glace dépolie à l'objectif. Avec une chambre noire dont la base est graduée, l'opération s'exécute très rapidement. On termine la mise au point en plaçant sur l'épreuve à reproduire un morceau de papier blanc qui, par la netteté de ses contours, facilite l'opération ; on enlève ce papier avant d'effectuer l'exposition de la plaque sensible : le diaphragme ne se place qu'après la mise au point.

Le procédé photographique le plus convenable est celui du gélatino-bromure. Il est bon de dépasser légèrement le temps de pose nécessaire et de développer avec une forte quantité de bromure dans le révélateur. La retouche du grand négatif s'exécute par les procédés usuels.

BIBLIOGRAPHIE.

Barreswil et Davanne. *Chimie photographique.*

Bride (Ch.). *L'Amateur photographe.*

Chevalier. *La méthode des portraits de grandeur naturelle.*

Liébert. *La Photographie en Amérique.*

Testelin. *Nouveaux procédés pour l'amplification des photographies et les portraits de grande dimensions.*

Van Monckhoven. *Traité d'optique photographique.*

— *Traité général de photographie*, 7e édition.

Vogel. *Lehrbuch der Photographie.*

Willemin. *Traité de l'agrandissement des épreuves photographiques.*

CHAPITRE IV.

AGRANDISSEMENTS A LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE.

§ 1. — APPAREILS.

838. Éclairage au pétrole. — Depuis que l'emploi des préparations au gélatino-bromure d'argent s'est généralisé, on se sert presque toujours de l'éclairage au pétrole pour éclairer les phototypes destinés à être amplifiés. L'appareil le plus usuel n'est autre qu'une lanterne magique munie d'un objectif photographique (*fig. 604*). Une lampe à pétrole avec un réflecteur se place à l'intérieur de l'appareil;

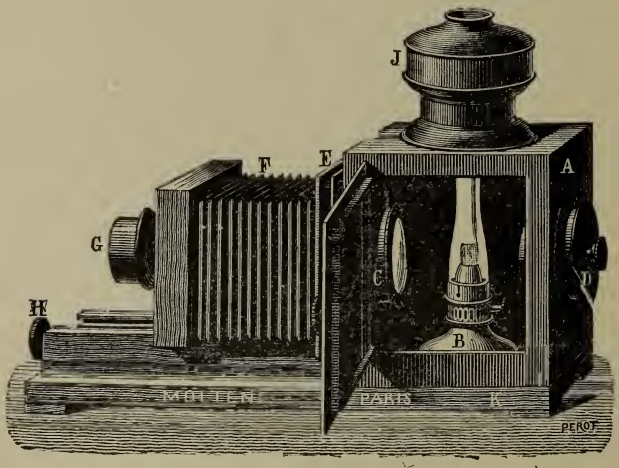


Fig. 604.

cette lampe est à large mèche, et, si le condensateur est de dimensions un peu considérables, on emploie des lampes à trois ou cinq mèches. Les rayons lumineux traversent le condensateur B (*fig. 605*),

éclairent le négatif à agrandir A placé dans un châssis à coulisse, puis, après avoir traversé l'objectif C, vont former leur image sur l'écran D.

L'objectif employé peut être un objectif à portraits ordinaires.

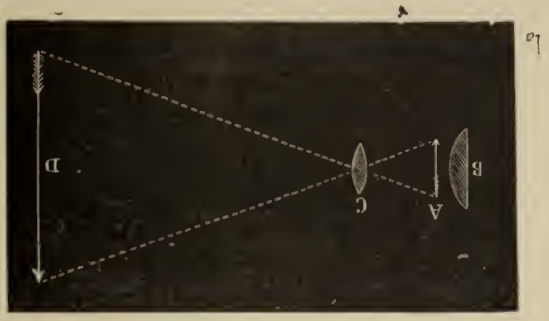


Fig. 605.

Dallmeyer a montré que, pour obtenir un champ de netteté égal sur toute la dimension de l'écran, les courbures des lentilles de l'ob-

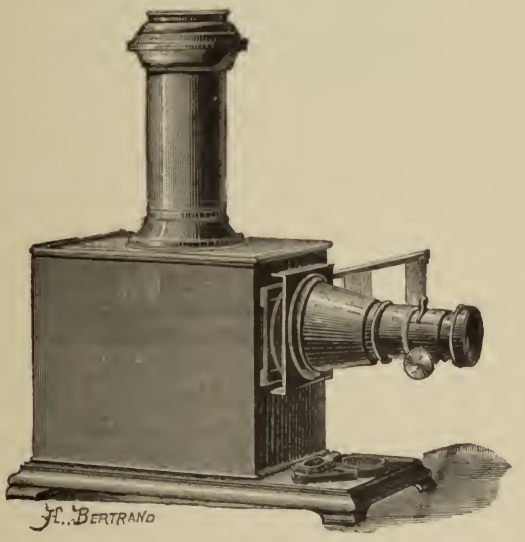


Fig. 606.

jectif à portrait devaient être modifiées : il a construit une nouvelle forme d'objectif qu'il a désigné sous le nom de « *Lantern Lens* ».

Le condensateur est achromatique ; ses dimensions sont détermi-

nées par les dimensions du négatif à agrandir; le plus souvent, ce négatif est du format de $0^m10 \times 0^m085$: c'est le format adopté par le Congrès photographique.

La lampe à pétrole est ou bien à bec rond (*fig. 606*), auquel cas l'appareil peut être construit en bois, ou bien à plusieurs mèches plates (*fig. 607*) ; dans ce cas, l'appareil est à double enveloppe de tôle pour éviter l'échauffement des diverses pièces ; une cheminée en tôle active le courant de la flamme et permet un éclairage régulier. Dans quelques appareils, l'enveloppe intérieure est de tôle et le corps extérieur est de tôle perforée, de telle façon que la partie exté-

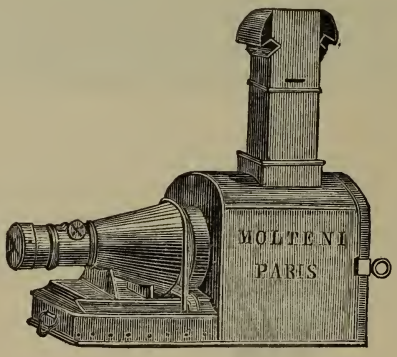


Fig. 607.

rieure qui porte le condensateur ne peut être échauffée; on évite ainsi le bris des lentilles, accident qui se produit souvent à cause de l'action de la chaleur.

839. Éclairage électrique. — L'usage de la lumiere électrique pour la production des agrandissements ne s'est pas répandu, malgré les facilités de se procurer ce nouveau genre d'éclairage : c'est que la lumière électrique n'a pas un pouvoir actinique comparable à celui de la lumière Drumond ; de plus, l'installation des appareils est assez coûteux, et, si l'on est obligé de recourir à l'emploi des piles, cet éclairage n'est pas économique. Ce n'est donc que lorsqu'on a besoin d'une fixité absolue de la source lumineuse (par exemple pour la microphotographie) que l'on a recours à ce genre d'éclairage. On s'en sert avec une simple chambre noire, sans appareil spécial (*fig. 608*) ; on peut aussi l'employer avec les appareils usuels.

La lampe électrique se met à la place de la lampe à pétrole ; l'ap-

pareil d'agrandissement se manie d'ailleurs de la même manière dans les deux cas.

Cet éclairage n'est employé que dans les grandes villes par les photographes qui ont à exécuter beaucoup d'agrandissements.

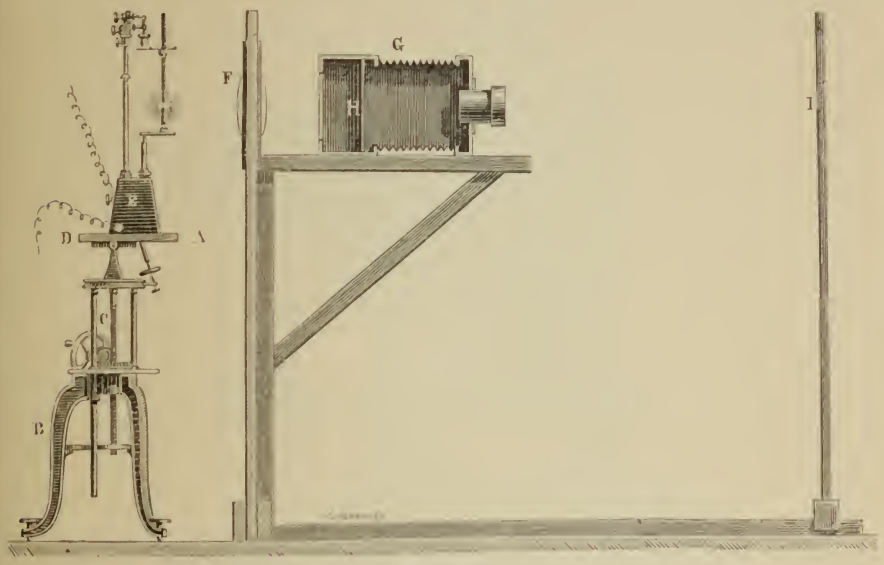


Fig. 608.

840. Éclairage oxhydrique. — La lumière Drumond ou lumière oxhydrique s'obtient en projetant sur un bâton de chaux la flamme produite par la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène ; la chaux, sous l'influence de la haute température à laquelle elle est portée, émet une lumière extrêmement actinique. En pratique, on

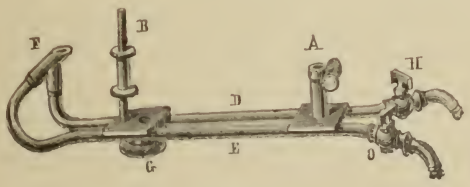


Fig. 609.

remplace l'hydrogène par le gaz d'éclairage ordinaire. Les deux gaz sont séparés jusqu'à leur sortie des tubes qui les amène à peu de distance de la chaux ; l'ensemble de ces tubes prend le nom de chalu-

meau oxhydrique (*fig. 609*). Il se compose de deux tubes : l'un EO amenant l'oxygène, l'autre DH amenant l'hydrogène : les deux gaz ne peuvent se réunir qu'en F à la sortie des tubes, et ce dispositif permet d'employer les deux gaz avec des pressions très différentes, ce qui est souvent fort utile ; le dard du chalumeau est projeté sur un bâton de chaux, percé d'un trou permettant de le placer sur la broche B.

Lorsqu'on n'a pas le gaz d'éclairage à sa disposition on peut employer l'hydrogène, que l'on prépare assez facilement, comme nous le verrons plus loin. Mais si l'on ne veut pas s'astreindre à faire cette préparation, il faut avoir recours à la lumière oxycalcique

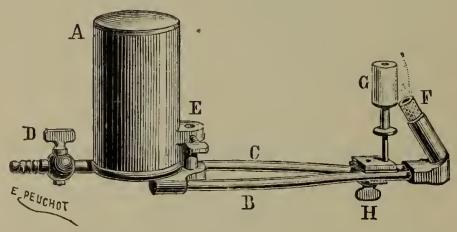


Fig. 610.

obtenue en dirigeant un jet d'oxygène au travers de la flamme d'une lampe à alcool ordinaire ; on lance le dard ainsi obtenu sur un bâton de chaux qui devient immédiatement incandescent. Pour éviter un trop grand échauffement du réservoir contenant l'alcool, on donne à la lampe une forme spéciale (*fig. 610*). Le réservoir reporté en arrière, de façon à être en dehors de l'appareil, reste à peu près froid ; il est à niveau constant et assez grand pour contenir une notable provision d'alcool ; l'oxygène arrive par le robinet D qui se trouve à gauche de la figure.

Ces appareils d'éclairage se placent dans une lanterne à agrandissements (*fig. 611*) comportant un condensateur I et un objectif photographique F. Le chalumeau est supporté par une double platine en cuivre B réunissant les colonnes ; chacune de ces platines est munie d'un mouvement de rappel à crémaillère permettant de déplacer avec précision le chalumeau de gauche à droite et d'avant en arrière ; une troisième crémaillère D permet d'effectuer le réglage en hauteur, de sorte qu'on amène avec facilité le point lumineux au foyer du système optique, ce qui est très important ; une crémaillère permet de mettre au point l'objectif. Les robinets J et K sont indépendants. S'il

devient nécessaire de les manœuvrer après le réglage des appareils, on ne communique aucun ébranlement au chalumeau.

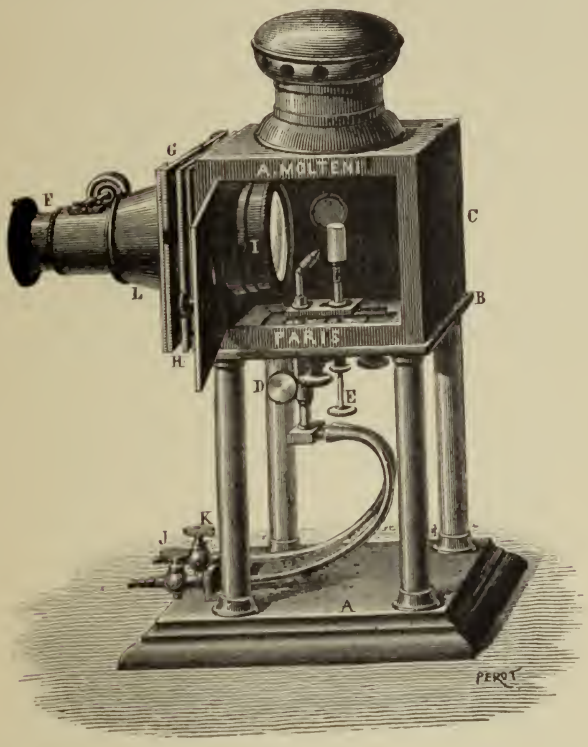


Fig. 611.

Les appareils que nous venons de décrire peuvent servir, soit pour les projections, soit pour les agrandissements; mais dans ce dernier cas il est bon qu'à la suite du châssis qui porte le condensateur se trouve un soufflet permettant de se servir d'objectifs à foyer plus long que ceux employés pour les projections. A la suite de l'objectif se place un long soufflet, relié avec le chevalet portant la surface sensible. On peut se servir d'une chambre noire à long tirage que l'on relie à l'appareil d'agrandissement; on évite ainsi l'action de la lumière qui pourrait voiler les préparations sensibles.

La lumière artificielle peut être employée avec les chambres solaires dont on se servait autrefois; mais entre la source A (*fig. 612*) et le condensateur B, il faut placer une lentille destinée à rendre les rayons parallèles et du

côté opposé à cette lentille un miroir sphérique. Van Monckhoven a recommandé d'employer une lentille plan convexe et un miroir sphérique, à surfaces parallèles, de verre argenté : cette disposition est assez pratique quand on emploie la lumière électrique. Voici les rayons de courbure R du miroir, son épaisseur μ et le rayon de courbure R′ de la lentille collective, l'autre face étant plane et placée avant le condensateur :

R	μ	R′
0m25	0,004	0,15
0m45	0,006	0,27
0m60	0,008	0,36

Ces données correspondent respectivement à des condensateurs dont les diamètres sont 0m216, 0m380 et 0m513. L'appareil d'éclairage, renfermé dans une boîte dont la source lumineuse occupe la partie centrale et la lentille l'extrémité opposée, s'installe sur l'axe même de la chambre solaire dont

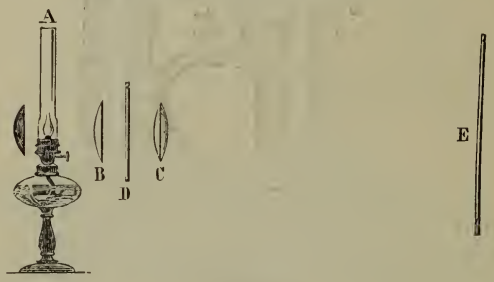


Fig. 612.

la partie optique n'est pas changée; l'objectif est en C (non représenté sur la figure), le négatif en D et le condensateur en B. La lentille collectrice de la boîte à lumière doit avoir sa face convexe tournée vers l'extérieur; on la place à une petite distance de la lentille B.

841. Autres modes d'éclairage. — On a essayé d'appliquer à l'éclairage du négatif la lumière produite par la combustion du magnésium brûlé soit à l'état de fil, de ruban ou de poudre; mais la flamme ainsi produite manque de fixité. Il en est de même de la lumière produite par les feux de Bengale : lorsqu'on emploie ces sources de lumière, il faut aérer la place dans laquelle on opère, à cause des vapeurs très abondantes qui se produisent dans ces conditions.

Tessié du Motay a remplacé le cylindre de chaux d'abord par un cylindre de magnésie comprimée, puis par un cylindre de zircone. Carlevaris[1] a employé d'abord la magnésie poreuse, il s'est ensuite servi des petits parallélipipèdes de charbon de cornue employés par l'éclairage électrique : il humectait ce charbon avec du chlorure de magnésium. Cette lumière est

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1870, p. 10.

extrêmement puissante sous le rapport photographique, mais il est difficile de maintenir le point lumineux dans l'axe optique de l'appareil d'agrandissement, et l'image amplifiée manque de netteté ; de plus, le chlorure de magnésium émet des vapeurs qui se condensent sur les lentilles, sur le négatif, etc., ce qui rend son emploi peu pratique.

Van Monckhoven a remplacé le cylindre de chaux de la lumière Drummond par un cylindre comprimé d'acide titanique, de magnésie et de carbonate de magnésie. Ce mélange est monté en parallélipipèdes de 0m03 de côté et 0m09 de haut ; ces crayons peuvent servir pendant trois heures. Le carbonate de magnésie pur, exempt de soude, de potasse et de baryte, obtenu par précipitation du chlorure de magnésium par le carbonate d'ammoniaque, donne des résultats presque aussi bons que ceux fournis par l'acide titanique ; on comprime ce carbonate de magnésie à l'aide de la presse hydraulique.

L'acide chloro-chromique chauffé à 40 ou 50°, et dans lequel on fait passer un courant d'hydrogène *sec* que l'on allume dans l'oxygène, donne une flamme pourpre très actinique ; le chlorure de titane employé d'une manière analogue donne une flamme moins puissante ; le sulfure de carbone que l'on brûle dans le bioxyde d'azote donne une lumière d'un bleu pâle très actinique ; mais l'emploi de ces diverses sources de lumière a été abandonné à cause des vapeurs nuisibles qui se produisent pendant la combustion.

§ 2. — MANIEMENT DES APPAREILS.

842. Centrage de la source lumineuse. — Le maniement des appareils d'agrandissement à lumière artificielle est sensiblement le même, quelle que soit la source lumineuse employée. Le réglage ou centrage du point lumineux doit être d'autant plus parfait que la source lumineuse est plus petite. La netteté des images obtenues dépend en grande partie de ce réglage : un déplacement de 1 ou 2 millimètres à droite ou à gauche suffit pour enlever la netteté à une forte portion de l'image ; c'est pour ce motif que les appareils d'éclairage doivent être munis de vis de rappel ou de crémaillère permettant de déplacer le point lumineux dans tous les sens. L'aspect que présente le disque éclairé projeté sur l'écran indique si le point lumineux est bien centré ; un disque A *uniformément éclairé* (*fig. 613*) indique qu'il en est ainsi. Le point lumineux étant dans l'axe, mais trop près ou trop loin des lentilles, donne sur l'écran un cercle lumineux B dans lequel la circonférence est moins éclairée que le centre : s'il est en dehors de l'axe, trop à gauche C ou à droite D, trop haut E ou trop bas F, la pénombre se forme du même côté et il faut ramener la source lumineuse vers le centre. Il suffit

de très petits mouvements pour produire ces diverses apparences, bien faciles à reconnaître.

Le centrage de l'appareil étant obtenu, on place le négatif dans le châssis à coulisse, qui se loge près du condensateur. Il est bon que

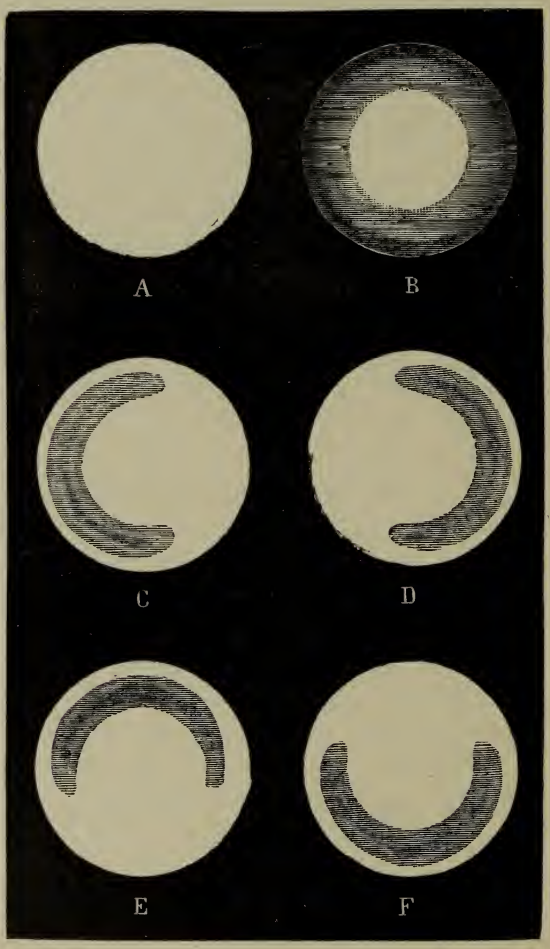


Fig. 613.

ce négatif soit coupé exactement à la dimension nécessaire pour l'agrandissement. Le condensateur employé doit avoir un diamètre égal à la diagonale du négatif. Il est inutile d'employer un condensateur E (*fig. 614*) plus grand que cette diagonale, car on perd alors toute la lumière qui se trouve à côté du négatif.

Ce centrage s'effectue de la même manière, quel que soit l'éclairage employé.

On détermine les dimensions de l'image et on met au point en avançant ou reculant l'objectif à l'aide de la crémaillère ; on remplace ensuite l'écran du chevalet ou la glace dépolie par la préparation destinée à fournir l'image.

843. Emploi du pétrole. — La lumière du pétrole est suffisante pour obtenir des agrandissements sur papier au gélatino-bro-

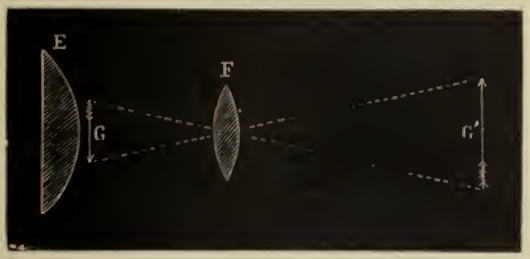


Fig. 614.

mure d'argent, pourvu que la dimension de l'épreuve ne dépasse pas $0^m50 \times 0^m60$. Si la lampe à pétrole est à bec rond, le centrage doit être fait avec le plus grand soin : quant aux lampes à trois et quatre mèches, il est assez difficile, pour ne pas dire impossible, de les centrer complètement ; le disque lumineux n'est jamais uniformément éclairé sur toute sa surface. Le pétrole employé doit être de bonne qualité. On peut augmenter son pouvoir éclairant et empêcher la production de fumée en mélangeant 20 grammes de camphre à 1 litre de pétrole. La mèche doit être coupée d'une façon absolument nette, sans aucune bavure ; cette condition est extrêmement importante pour obtenir un bon éclairage.

844. Emploi de la lumière oxhydrique. — On prépare facilement l'oxygène en mélangeant dans une cornue de fonte ABC (*fig. 615*) parties égales de chlorate de potasse cristallisé et de bioxyde de manganèse en grains *préalablement calciné*. Pour obtenir un sac de 250 à 270 litres de gaz, on mélangera dans la cornue de fonte 1 kilogramme de chacune des substances précédentes ; après que les produits sont bien mélangés dans la cornue, on coule dans la

rainure B du plâtre à mouler, gâché, ni trop liquide, ni trop épais, on met en place le couvercle C, dont le tour doit être pareillement plâtré. Lorsque le plâtre est bien sec on peut chauffer la cornue, soit avec du charbon de bois, soit à l'aide d'un fourneau à gaz; on adapte un tube de caoutchouc E à la tubulure D, on adapte l'autre extrémité en L, tubulure qui conduit le gaz dans le laveur F à moitié plein d'eau ou mieux d'un lait de chaux; au bout de quelques instants, lorsque le barbottement du gaz devient un peu rapide, on essaie le gaz au bout du tube G, en approchant l'orifice du tube une allumette

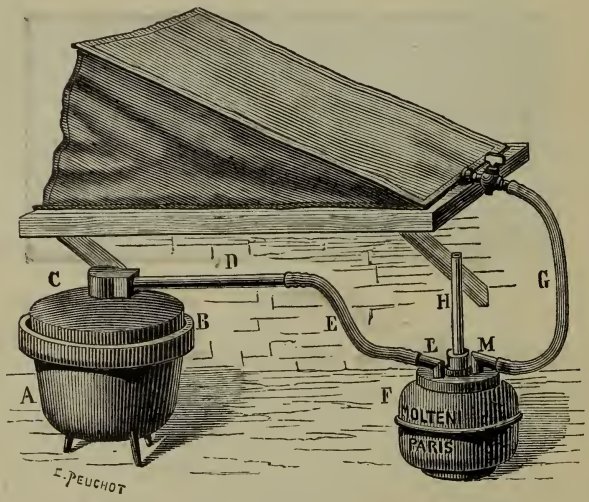


Fig. 615.

éteinte et présentant quelques points en ignition; elle doit se rallumer aussitôt s'il se dégage de l'oxygène pur. On peut alors adapter le tube G sur le robinet du sac que l'on a préablement roulé sur lui-même après avoir ouvert le robinet, de façon à chasser l'air qui peut se trouver dans l'intérieur et qui nuirait à la qualité de l'oxygène. Le barbottement du gaz dans le laveur se ralentit au bout d'une demi-heure; on retire immédiatement le tube E de la cornue et l'on ferme aussitôt le robinet du sac, on laisse tomber le feu, et, lorsque la cornue est refroidie, on jette le résidu dans un seau en bois, on le lave par décantation et on le fait sécher complètement : il peut alors servir de nouveau avec le chlorate de potasse.

Si l'on n'a pas à sa disposition le gaz de l'éclairage, et si l'on veut obtenir une lumière plus intense que celle qui est fournie par le cha-

lumeau à alcool et à oxygène, il faut recourir à l'emploi de l'hydrogène, que l'on peut préparer rapidement à l'aide de l'appareil suivant : A (*fig. 616*) est une cloche en plomb dont le pied mobile B est percé de trous, afin de permettre au liquide de monter dans l'appareil; cette cloche est surmontée d'un tuyau en plomb terminé par un robinet C. On commence par enlever le fond de la cloche et on le garnit aux

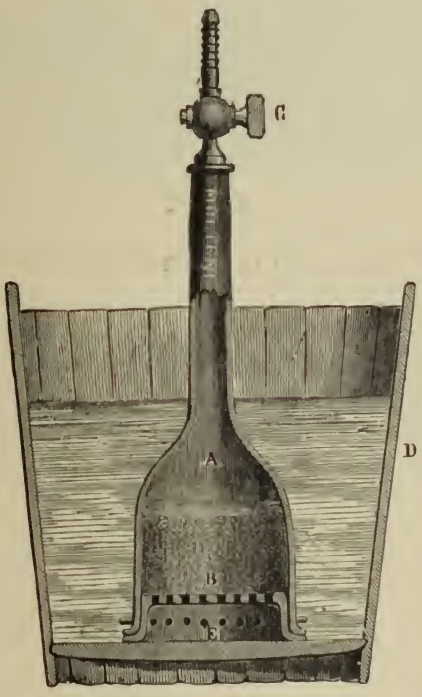


Fig. 616.

trois quarts avec de la grenaille de zinc : on remet le fond et on plonge la cloche dans un baquet en bois contenant un mélange de 5 litres d'eau et 1 kilogramme d'acide sulfurique du commerce; on ouvre le robinet C, l'air s'échappe et l'eau acidulée attaque le zinc : l'hydrogène se dégage, on le fait passer dans un flacon laveur. On peut alors le recueillir soit dans un sac en caoutchouc préalablement roulé sur lui-même, de manière à chasser l'air, soit dans un gazomètre. Pour arrêter l'opération il suffit de fermer le robinet C. L'hydrogène ne doit pas être conservé longtemps dans les sacs en caoutchouc parce que l'air s'infiltre dans le sac soit par endosmose, soit par des joints

défectueux; on s'expose alors à enflammer un mélange détonnant.

Lorsque les gaz sont préparés, on met un bâton de chaux sur la broche du chalumeau, on adapte les deux tuyaux de caoutchouc aux

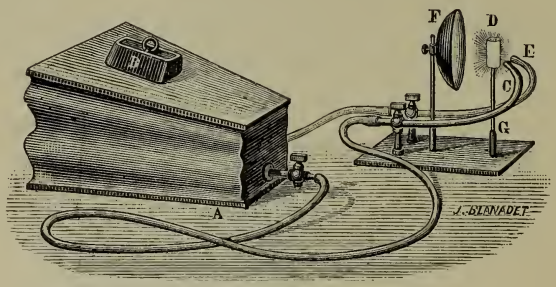


Fig. 617.

robinets correspondants, puis on allume l'hydrogène et on fait arriver l'oxygène (*fig. 617*).

Il est nécessaire que les gaz arrivent au chalumeau avec une pression suffisante; dans ce but, on engage les sacs sous des *pressoirs* (*fig. 618*). Un pressoir se compose de deux fortes planches réunies par une charnière et ayant une échancrure par laquelle on laisse

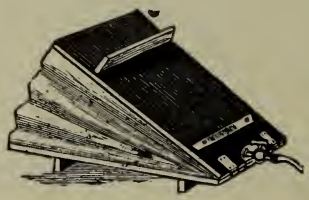


Fig. 618.

passer le robinet du sac; vers l'extrémité supérieure de la planche de dessus se trouve une traverse derrière laquelle on met des poids formant un total d'environ 80 kilogrammes.

Le réglage des robinets exige quelques précautions. Admettons que l'on puisse se servir d'hydrogène pur et supposons que le sac de l'hydrogène soit chargé d'un poids de 100 kilogrammes et celui de l'oxygène d'un poids de 100 kilogrammes : on ouvre le robinet de l'hydrogène et on allume le gaz, puis on ouvre peu à peu celui de l'oxygène pour que le gaz arrive lentement; la chaux devient incandescente et le maximum d'éclairage correspond à un débit de deux

volumes d'hydrogène pour un volume d'oxygène. On peut s'assurer rapidement si ces proportions sont obtenues ; il suffit pour cela d'examiner l'écran. On ferme lentement le robinet de l'hydrogène : si l'intensité de la lumière augmente, c'est qu'on employait trop d'hydrogène ; si elle diminue, c'est une preuve qu'il y a manque d'hydrogène. Dans ce cas, on ouvre complètement le robinet de l'hydrogène et l'on ferme lentement celui de l'oxygène : s'il y a augmentation d'intensité c'est qu'il y avait excès d'oxygène ; en faisant varier la pression et opérant par tâtonnement, on arrive à déterminer les proportions les plus convenables des deux gaz. La dépense de gaz varie évidemment avec la pression ; avec le gaz de l'éclairage, sous une pression de 0^m03 d'eau et un sac à oxygène chargé de 80 kilogrammes, l'éclairage obtenu est équivalent à celui de 400 bougies.

Le réglage de la lampe à l'alcool nécessite certaines précautions qu'il ne faut pas négliger de prendre si l'on veut obtenir le maximum de lumière. On allume la lampe, et à l'aide d'une pince on fait sortir la mèche pour que les fils de coton dépassent le bec du chalumeau, puis on les sépare en deux parties de manière à ouvrir un passage au gaz entre les fils du coton. Pendant que le chalumeau fonctionne, on rapproche plus ou moins les deux parties de la mèche, et l'on voit l'intensité augmenter. Mais en faisant cette opération, il faut veiller à ce que rien ne vienne se mettre en travers du passage de l'oxygène, car immédiatement la lumière diminuerait ; on règle aussi l'arrivée de l'oxygène, car l'insuffisance comme l'excès de ce gaz empêcherait le chalumeau de donner le maximum de lumière.

Il est important, lorsqu'on a allumé la lampe, de faire tourner plusieurs fois le bâton de chaux sur lui-même pour l'échauffer également : on fait arriver l'oxygène peu à peu ; en opérant ainsi, le bâton de chaux peut servir assez longtemps. On trouve dans le commerce ces bâtons de chaux spécialement fabriqués pour la production de la lumière oxhydrique. Il est inutile de les préparer soi-même ; au besoin, on peut, avec du marbre blanc, faire des bâtons qui donnent une assez bonne lumière.

845. Emploi de la lumière électrique. — Ce mode d'éclairage est peu employé, sauf par les photographes qui font continuellement des agrandissements. Dans ce cas, ils emploient une source lumineuse munie d'un bon régulateur permettant de maintenir les charbons sur l'axe de l'appareil ; le réglage du point lumineux est le

seul point délicat que présente le maniement de l'appareil d'agrandissement.

§ 3. — PROCÉDÉS PHOTOGRAPHIQUES A EMPLOYER.

846. Procédé au gélatino-bromure. — Les procédés à peu près exclusivement employés aujourd'hui pour produire des agrandissements à la lumière artificielle sont le procédé au gélatino-bromure d'argent et celui au gélatino-chlorure : ces deux moyens peuvent donner des images par voie directe ou par voie indirecte.

847. Epreuves directes. — Ces épreuves s'obtiennent en amplifiant directement le négatif qui, par conséquent, doit être d'un format assez réduit. Le négatif est placé dans la lanterne à agrandissement. On met au point sur une glace recouverte d'une feuille de papier blanc collée sur la glace, ou simplement appliquée sur cette glace mouillée; la mise au point étant effectuée, on fait tremper dans l'eau distillée une feuille de papier recouverte d'émulsion au gélatino-bromure d'argent (les papiers préparés par la Compagnie *Eastmann*, le papier *Ilford alpha*, l'Ilford bromide, ceux de M. *Lamy*, de MM. *Marion* et *Cie* sont les plus employés); on applique le papier mouillé sur la glace du chevalet ; on fait l'exposition.

Le développement de ces papiers s'effectue avec le bain d'oxalate de potasse et de sulfate de fer, auquel on adjoint une quantité de bromure suffisante pour empêcher les blancs de se salir. En pratique, on se sert de trois dissolutions :

A) Oxalate neutre de potasse, 300 gr.; eau, 1 litre.

B) Sulfate de fer, 30 gr.; eau, 1 litre; acide citrique, 7 gr.

C) Bromure de potassium, 30 gr.; eau, 1 litre.

On emploie de quatre à cinq parties de la solution A pour une partie de la solution B; à 100 c. c. de bain ainsi préparé on ajoute de 1 à 2 c. c. de la solution de bromure.

Lorsque l'on fait des agrandissements, il est bon d'avoir sur la table du laboratoire trois cuvettes d'égales dimensions : la première contient de l'eau, la seconde renferme le révélateur, et la troisième une dissolution d'alun. Si le papier n'a pas été mouillé avant l'exposition dans l'appareil d'agrandissement, on le fait tremper dans la première cuvette, puis on le place, la surface sensible en-dessus, dans la cuvette renfermant le mélange révélateur qui doit recouvrir

uniformément toute l'épreuve. Le développement est terminé au bout d'une minute si le temps de pose a été exact; on doit d'ailleurs continuer le développement jusqu'à ce que l'image présente l'intensité qu'elle doit avoir, car le fixage ne modifie pas sa vigueur. Le fixage s'effectue sans qu'il soit besoin de laver après le développement; on plonge l'épreuve dans une troisième cuvette contenant 1 litre d'eau, 4 grammes d'acide citrique et 50 grammes d'alun. La cuvette ne doit contenir que la quantité de bain strictement nécessaire pour recouvrir l'épreuve; lorsque ce bain a agi pendant une minute, on le remplace par une nouvelle quantité de solution que l'on promène sur l'épreuve pendant une minute; on recommence une troisième fois avec une solution n'ayant pas servi, et l'on élimine ainsi l'excès de bain de fer tout en durcissant la couche de gélatine; on jette ce liquide et on le remplace dans la même cuvette par de l'eau ordinaire; on renouvelle trois fois cette eau et on plonge l'épreuve dans une solution de 200 grammes d'hyposulfite de soude dans 1 litre d'eau; après le fixage, on lave soigneusement l'épreuve à l'eau courante.

Les épreuves peuvent être facilement virées (**595**). Si le ton obtenu ne convient pas, au lieu du développement à l'oxalate de fer on peut employer celui à l'hydroquinone (**594**): mais il faut l'additionner de 10 grammes de bromure de potassium et 100 grammes de sulfite de soude par litre de mélange développateur : la teinte obtenue est d'un brun chaud assez agréable si le temps de pose a été suffisant.

848. Epreuves par voie indirecte. — Ce procédé consiste à faire un grand négatif sur verre ou sur papier au gélatino-bromure en prenant comme point de départ un positif que l'on amplifie. La retouche du grand négatif est assez facile, et ce procédé permet d'obtenir tel nombre d'épreuves que l'on peut désirer et que l'on imprime par les moyens ordinaires. Pour les images de très grandes dimensions, le négatif peut être fait sur papier, car pour les grandes épreuves le grain du papier n'est pas un défaut.

849. Procédés divers. — Stolze[1] a conseillé de placer un verre finement dépoli sur ses deux faces, entre le condensateur et le négatif. On peut supprimer le condensateur de l'appareil si l'on entoure de miroirs ou de réflecteurs blancs la source lumineuse : on augmente ainsi l'éclairage du

1. *Phot. Wochenblatt*, 1888, n° 2.

négatif. Les meilleurs réflecteurs sont ceux en plâtre à mouler que l'on coule sur des plaques de verre et que l'on détache lorsque le plâtre est durci. L'ensemble des réflecteurs doit présenter la forme d'une pyramide quadrangulaire dont la base est tournée vers le négatif à amplifier. Grâce à la rapidité des préparations au gélatino-bromure, on peut employer comme source de lumière soit la lampe à pétrole à bec rond, soit un ruban de magnésium roulé en spirale que l'on brûle dans un verre de lampe.

On peut aussi placer à quelques centimètres du verre négatif un verre finement dépoli sur ses deux faces et éclairer fortement ce verre avec un condensateur ou une boîte à lumière. En faisant varier la distance du verre dépoli au négatif, on produit, suivant l'intensité de ce dernier, un éclairage qui permet d'obtenir tous les détails du négatif dans les noirs.

Les agrandissements à fond dégradé s'obtiennent comme dans le procédé direct. Si quelque partie du négatif présente une tendance à s'imprimer avec trop d'intensité, ce qui fait disparaître les détails, on place sur le trajet du cône lumineux, et à une certaine distance de l'image, une silhouette présentant à peu près la forme de la portion qu'il s'agit de préserver; on fait mouvoir cette silhouette pendant une grande partie de la pose de manière à ne pas avoir de lignes trop brusquement arrêtées. Les portions du négatif qui sont au contraire trop opaques et qui ne donnent qu'une trace d'impression sur l'image amplifiée peuvent être renforcées à l'aide d'un artifice très simple : pendant le développement, on retire l'épreuve du bain, on la pose sur une glace et on frotte les parties trop blanches avec une touffe de coton imbibée d'un bain composé de 75 c. c. de solution d'oxalate et 25 c. c. de solution de sulfate de fer sans addition de bromure; aussitôt que l'on a obtenu les détails, on remet l'épreuve dans le bain et on continue le développement. Avec les clichés très durs dans certaines parties, il sera utile d'employer un bain de fer plus concentré analogue à celui que l'on utilise pour développer les images instantanées. On peut, en éclairant convenablement le négatif et en employant les artifices que nous venons d'indiquer, obtenir de bonnes épreuves avec des phototypes qui, agrandis à la manière ordinaire, donneraient des résultats médiocres.

BIBLIOGRAPHIE.

DAVANNE. *La Photographie.*

CHEVALIER (A.). *La méthode des portraits de grandeur naturelle.*

LIÉBERT. *La Photographie en Amérique.*

MOLTENI. *Instruction pratique sur l'emploi des appareils de projection.*

VAN MONCKHOVEN. *Traité général de photographie*, 6e édition.

CHAPITRE V

DES PROJECTIONS.

§ 1. — MATÉRIEL.

850. Appareils de projection. — Les projections lumineuses, si répandues aujourd'hui, sont en quelque sorte liées aux agrandissements photographiques : en effet, avant d'obtenir une image amplifiée, on la projette sur un écran, puis on remplace l'écran par le papier sensible. On peut dire que les projections constituent un cas particulier des agrandissements photographiques : ce sont, en effet, des amplifications dont l'image n'est pas fixée sur une surface sensible à la lumière. Le matériel employé est, à peu de choses près, celui qui sert pour les agrandissements ; nous signalerons les différences qu'il présente et nous examinerons ensuite comment on obtient les images à projeter.

L'éclairage des appareils de projection s'effectue soit à l'aide d'une lampe à pétrole, de la lumière électrique ou de la lumière oxhydrique : c'est ce dernier mode d'éclairage qui est le plus souvent employé, car on trouve aujourd'hui dans le commerce des cylindres d'acier remplis d'oxygène comprimé, ce qui facilite singulièrement l'emploi de cette lumière. Les projections à la lumière électrique ne se font que dans les grandes villes, si l'on peut se procurer une source d'électricité suffisante.

Le premier appareil à projection a été la lanterne magique inventée vers 1645 par Kircher. L'appareil était éclairé à l'aide d'une lampe à l'huile ; plus tard, on s'est servi de la lampe Carcel, mais ce mode d'éclairage était bien faible par rapport à ceux que nous employons actuellement. Le tableau ci-dessous indique les rapports d'intensité des diverses lumières[1], en prenant comme unité une bougie de l'Étoile :

Bougie de l'Étoile	1
Lumière de la lampe Carcel, brûlant 42 grammes d'huile par heure	7,5
Lampe modérateur, bec 16 lignes	9 à 10
Lampe modérateur, bec 16 lignes, avec huile camphrée	13 à 16
Gros bec de gaz d'éclairage, cheminée cristal	15

1. Molteni, *Instruction pratique sur l'emploi des appareils de projection*, p. 17.

Lampe à pétrole, gros bec circulaire	14 à 16
Lampe américaine à deux mèches, munie de son réflecteur.	25 à 30
Lampe américaine à plusieurs mèches, munie de son réflecteur	50 à 60
Chalumeau oxycalcique (suivant le réglage de la mèche et la construction du chalumeau)	100 à 200
Chalumeau oxhydrique suivant sa construction et les conditions de pureté et de pression des gaz	250 à 500
Magnésium en rubans de 0m0025 de large	200 à 250
Lumière électrique fournie par une pile de 50 éléments Bunsen	720

L'éclairage oxhydrique est en somme le plus pratique, et, dans les conditions ordinaires, on fait des projections avec une lumière équivalente à celle de deux cent cinquante à trois cents bougies. Le réglage des appareils (qui sont les mêmes que ceux employés pour les agrandissements) se fait de la même manière que s'il s'agissait d'amplifier une épreuve photographique.

Les lampes à pétrole employées quelquefois pour les projections sont à bec rond ou à mèche plate. Les lampes à bec rond exigent certains soins : le verre doit être très propre et la mèche parfaitement coupée ; on régularise la mèche au moment de l'allumer en l'amenant au niveau du bec et l'affleurant en passant le doigt dessus ; on égalise ainsi complètement la partie déjà brûlée. Les lampes à plusieurs mèches nécessitent assez de soins dans leur emploi : aucun fil ne doit dépasser les mèches, sinon les flammes fileraient immédiatement ; on atteint ce résultat, comme dans les lampes à bec circulaire, en faisant affleurer la partie déjà carbonisée. On doit alimenter ces lampes avec du pétrole rectifié ; on essaie ce pétrole de la manière suivante : on verse dans une soucoupe chauffée à 38 ou 40° une petite quantité du liquide à essayer et on y plonge une allumette enflammée ; si le pétrole peut être employé sans danger, cette allumette s'éteint. Le réservoir doit être rempli aux trois quarts, les mèches ne doivent sortir de leur porte-mèche que de 0m003 à 0m004. La lampe étant bien réglée en commençant, la température s'élève dans l'appareil et les conditions du tirage ne tardent pas à être changées ; il faut alors procéder à un nouveau réglage. Pour la plupart des lampes, lorsque le réglage est convenable, les mèches extérieures sont légèrement plus élevées que celles qui sont au centre. Il faut enfin régler le tirage en allongeant ou raccourcissant la cheminée, ou bien en ouvrant plus ou moins la soupape du tube en tôle jusqu'au moment où la lumière projetée sur l'écran atteint son maximum d'intensité.

Les épreuves destinées à être projetées ont en général $0^m10 \times 0^m085$ de mesure extérieure, elles sont encadrées avec une bordure de papier aiguille à coins arrondis (*fig. 619*). Molteni[1] a fait observer que dans le montage des épreuves pour projection il était important d'indiquer le vrai sens de la photographie. On y parvient facilement par le procédé suivant : tenant l'épreuve entre le pouce et l'index par le coin droit inférieur, de façon à la voir dans son vrai sens, c'est-à-dire à

Fig. 619.

lire l'écriture s'il y en a, on colle une étiquette gommée à la place du pouce, de sorte que si au moment de la projection on reprend la vue de la même façon, on sait qu'elle est dans le sens où le spectateur doit la voir; on peut alors la placer dans le sens convenable suivant le système d'écran adopté.

La dimension de l'image projetée sur l'écran peut être exprimée de deux façons : on peut mesurer le diamètre EF du cercle lumineux (*fig. 620*) projeté par l'objectif, ou bien on désigne simplement la hauteur AC de la vue carrée pouvant être inscrite dans la circonférence qui limite le cercle lumineux.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1889, p. 191.

Les dimensions de l'image projetée peuvent varier dans de grandes limites : avec un appareil éclairé à la lumière oxhydrique, on projette sur un cercle d'environ 4 mètres de haut; au besoin, on peut atteindre 8 à 10 mètres si les positives sont transparentes et la pression des gaz suffisante. Dans ce cas, l'appareil se trouve à une quinzaine de mètres de l'écran, et les projections manquent de finesse dans l'ensemble et de lumière dans les parties sombres; de plus, de telles images doivent être observées à deux ou trois fois la dimension de la toile, c'est-à-dire à plus de 30 mètres, sans quoi l'image paraît

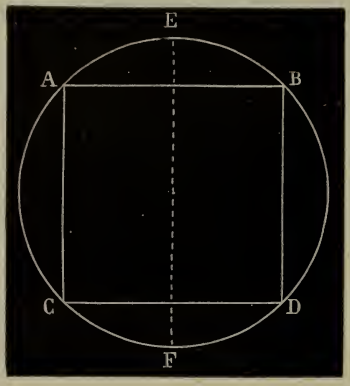


Fig. 60

grossière et manque de perspective. Il suit de là que si les spectateurs sont à 6 mètres de l'écran, le cercle lumineux ne doit pas avoir plus de 3 mètres; il vaut mieux qu'il soit plus petit afin d'avoir plus de lumière.

851. Disposition de l'écran. — On peut faire des projections *directement* ou *par transparence*; le premier cas est le plus fréquent. L'écran le plus simple consiste en un morceau de calicot blanc ayant environ 2 mètres de côté que l'on roule sur un bâton lorsqu'on ne s'en sert pas; lorsqu'il s'agit de projeter des images, on fixe les deux extrémités du calicot à un mur ou au plafond; le bâton sert à tendre l'écran. On peut aussi avoir un écran monté comme un store : on l'enroule au plafond lorsqu'on ne fait pas de projections. Enfin, on pourra utiliser comme écran l'envers d'un fond photographique sur lequel on tendra du calicot. Dans quelques cas spéciaux, on pourra projeter les images sur un mur blanc.

Les projections par transparence produisent plus d'illusion sur le spectateur que les images directes ; mais elles nécessitent un assez long espace, car l'écran se trouve placé entre l'appareil et les spectateurs. C'est ce mode de projection que l'on doit employer lorsque les images sont projetées par le polyorama.

L'écran transparent se confectionne avec du calicot assez large (on trouve actuellement des largeurs de 3 mètres); si la largeur de

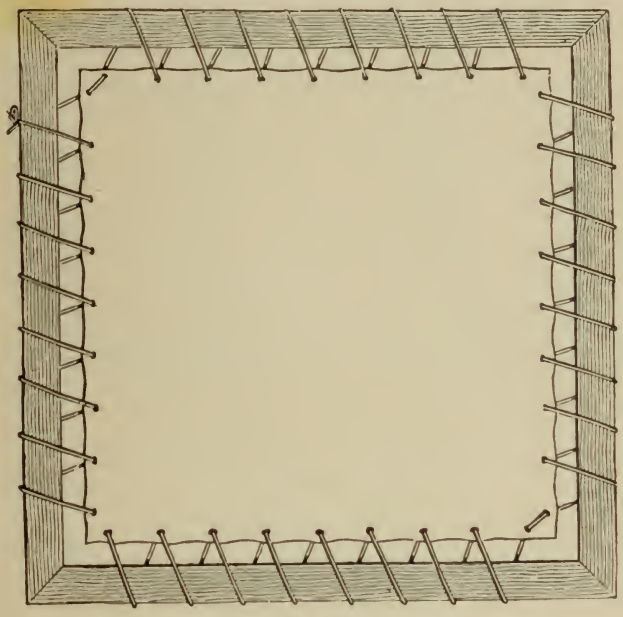


Fig. 621.

l'étoffe est insuffisante, s'il faut deux ou trois largeurs, on les coud en surjet; toutes les bandes doivent provenir de la même pièce. les coutures doivent être disposées *verticalement*, et autant que possible près des bords de l'écran ; lorsque l'on a assemblé les diverses largeurs d'étoffe, on renforce le bord de la toile sur les quatre côtés avec un ruban de fil cousu tout autour, on renforce de même les quatre coins; on pose ensuite tout autour des œillets métalliques espacés de 0^m25; ces œillets doivent avoir un diamètre de 0^m005; ceux des quatre coins sont plus gros et ont 0^m015; ces quatre œillets ne sont pas indiqués sur la figure 621, qui montre un des dispositifs adoptés pour tendre l'étoffe. Si l'écran doit être déplacé souvent, on

emploiera avec avantage des supports mobiles *(fig. 622 et 623)* très légers qui se démontent facilement et se transportent en plusieurs morceaux; à l'aide des œillets et d'une petite corde faisant lacet tout autour, on tend la toile sur son cadre comme une étoffe sur le métier à broder. Pour rendre la toile transparente, on l'enduit, à l'aide d'un large pinceau, d'une couche de vernis copal; lorsque, la première couche étant sèche, la transparence n'est pas jugée suffisante, on étend une autre couche sur l'autre face de la toile. Il faut éviter de mettre une trop grande quantité de vernis, parce qu'une transparence excessive

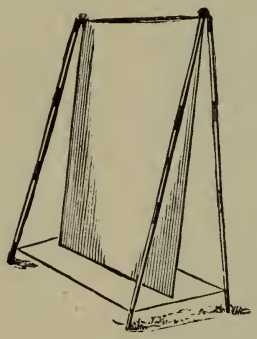


Fig. 622.

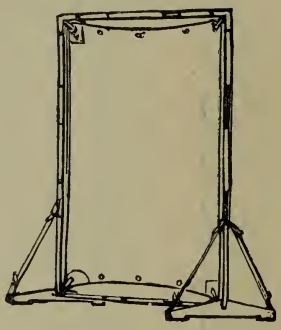


Fig. 623.

a le défaut de rendre sensible à l'œil la direction de l'appareil. La toile enduite de vernis copal doit rester tendue sur le châssis. Si l'écran doit être roulé, il est préférable d'enduire l'étoffe de cire; pour cela, on fait dissoudre au bain-marie 180 grammes de cire vierge et 50 grammes de blanc de baleine dans 500 grammes d'essence de térébenthine distillée; lorsque ce mélange est fondu, on l'applique à chaud avec un pinceau plat sur la toile préalablement tendue avec soin sur un cadre, puis on promène devant toute la surface de la toile, et cela à une petite distance, un fer chaud, de manière à faire fondre la cire qui pénètre alors le tissu et le rend translucide.

Le moyen le plus simple de rendre l'écran transparent consiste à le mouiller avec un fort pinceau ou une grosse éponge; lorsque l'étoffe a été souvent mouillée, on ajoute à l'eau de l'amidon et de la gomme arabique qui font disparaître les interstices existant entre les fils de l'étoffe.

Pour les projections de petite dimension, on emploie une glace finement dépolie; il faut cependant que le grain soit assez gros pour que le point lumineux n'apparaisse pas.

852. Maniement de l'appareil de projection. — Le maniement des appareils de projection est identique à celui des appareils d'agrandissement. Le lecteur voudra bien relire les indications que nous avons données à ce sujet (chap. IV, § 2); il est important d'observer les précautions suivantes.

Les lentilles et les vues destinées à être projetées doivent être essuyées avec une peau de chamois; s'il fait froid, il faut chauffer à l'avance les lentilles et les tableaux, car les condensations de vapeur qui se produisent sur le verre se traduisent sur l'écran par une tache sombre placée généralement au centre de la vue.

L'appareil doit être placé sur un support assez élevé pour que le centre des lentilles se trouve à la même hauteur que le milieu de l'écran ; il faut éviter d'incliner l'appareil parce que l'image se déforme de plus en plus au fur et à mesure que l'inclinaison augmente.

On commence par centrer la lumière, on règle l'éclairage à son maximum d'intensité, puis on introduit dans un châssis double, permettant de faire succéder rapidement les vues les unes aux autres, les deux vues qu'il est destiné à contenir, on met au point; lorsque la première image a été projetée pendant le temps nécessaire à la démonstration, on la remplace brusquement par la seconde en poussant le châssis, et on continue ainsi jusqu'à ce que la série soit terminée.

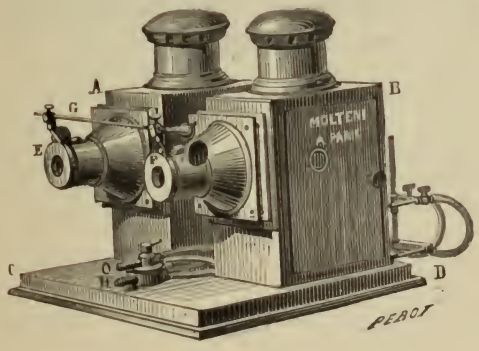


Fig. 64.

853. Appareil à projection double; polyorama. — On a construit des appareils qui permettent d'occuper la toile d'une manière continue. Les projections se succèdent sans interruption, l'une s'éteignant pendant que l'autre acquiert plus de vigueur. A l'aide de ces appareils, on peut montrer les diverses phases d'un phénomène, on superposer deux ou plusieurs images dont la réunion sur l'écran doit produire un effet déterminé.

On obtient ce résultat à l'aide de plusieurs lanternes dirigées vers le même point de la toile, soient deux lanternes A et B (*fig. 624*) montées sur la planchette CD et mobiles dans le sens horizontal, de manière à faire converger sur le même écran les images qu'elles peuvent projeter; deux diaphragmes E et F sont disposés de telle sorte que pendant la fermeture de A le diaphragme B s'ouvre progressivement : la première image disparaîtra insensiblement pendant que la seconde deviendra de plus en plus visible et finira par occuper seule l'écran.

Les deux appareils étant réglés séparément, on fait converger les deux lanternes de la manière suivante : un tableau se trouvant à l'intérieur de A on met au point, puis on le retire pour en faire autant avec l'appareil B

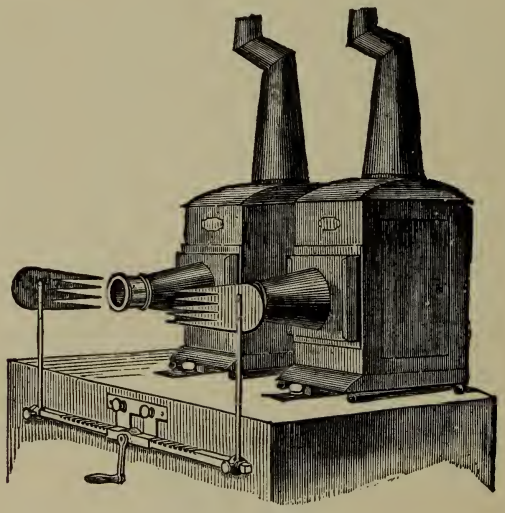


Fig. 625.

dont on enlève également le tableau ; on amène les deux disques lumineux projetés sur l'écran à être l'un sur l'autre et l'on serre les écrous qui fixent les appareils ; on relie alors les deux diaphragmes par une tringle G, après avoir ouvert complètement le premier et fermé le second. L'appareil ainsi construit peut servir avec toute sorte d'éclairage ; mais si l'on emploie la lumière oxhydrique, on obtient le changement à l'aide d'un robinet distributeur qui ferme le tube à oxygène pendant que la lanterne ne fonctionne pas.

En Angleterre, on emploie un appareil double (*fig. 625*) qui diffère des appareils ordinaires en ce qu'une lame dentée passe lentement devant un des objectifs de façon à le masquer graduellement pendant qu'une seconde lame semblable découvre l'autre objectif.

L'appareil double *f* vertical est plus facile à manier, parce que l'opérateur n'a pas à passer d'une lanterne à l'autre pour y introduire de nouveaux tableaux ; de plus, l'appareil vertical (*fig. 626*) occupe moins d'espace que l'appareil horizontal et se transporte plus facilement ; enfin, il se règle

très simplement, puisqu'il suffit de tourner le bouton A qui commande à la fois les deux systèmes optiques et permet de les incliner plus ou moins suivant l'éloignement de l'écran ; on peut rectifier immédiatement la position des deux disques et les ramener à la coïncidence.

On peut obtenir des effets complémentaires à l'aide d'un troisième, d'un quatrième appareil, etc. On a construit des appareils à trois objectifs ; ces instruments sont formés de trois lanternes de projection superposées

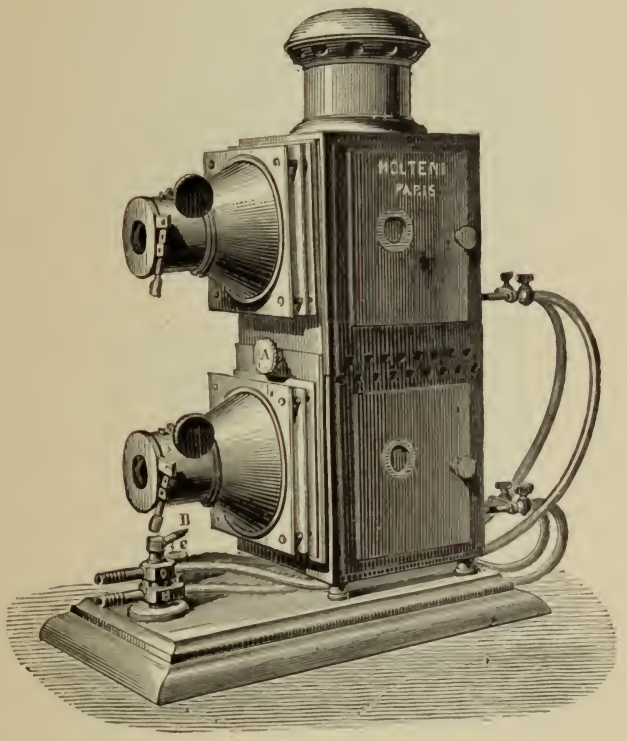


Fig. 626.

(*fig. 627*). Mais si l'on possède déjà un appareil double, on peut prendre un appareil simple que l'on place à droite ou à gauche de l'appareil principal, en ayant soin d'en faire converger la lumière vers la même partie de l'écran. Comme ce troisième appareil ne fonctionne pas constamment, on l'alimentera d'oxygène à l'aide d'un robinet distributeur.

854. Projection des corps opaques. — On projette les corps opaques à l'aide d'un mégascope. L'objet opaque A (*fig. 628*) est placé dans la boîte près du fond, lequel doit être garni d'une étoffe de velours noir ; à l'aide de deux fortes lampes munies de réflecteurs, on éclaire l'objet A. L'ob

jectif D qui sert à projeter l'objet doit être de grand diamètre relativement à sa distance focale. A l'aide de cet appareil, on peut projeter des gravures, des photographies, etc. Dans les appareils perfectionnés, les miroirs *mm*

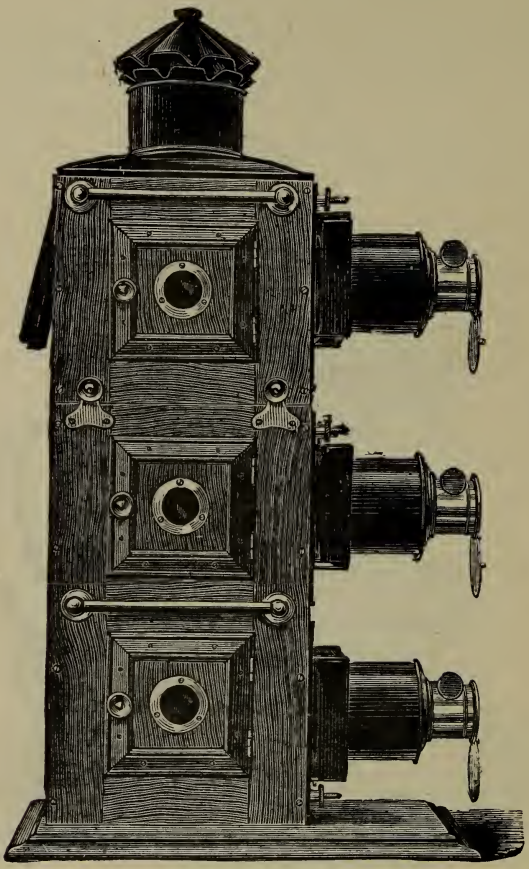


Fig. 627.

(*fig. 629*) peuvent être réglés ; en plaçant en C deux miroirs, on peut renvoyer la lumière des deux lampes sur le tube qui porte le condensateur et l'objectif ; on fait servir ainsi ce même appareil à la projection des objets transparents.

§ 2. — DES IMAGES POUR PROJECTIONS.

855. Transparentes pour projections. — Les épreuves pour projections s'obtiennent presque toujours à l'aide de la photographie. Ces images doivent présenter les caractères de celles qui sont desti-

nées aux agrandissements : il faut qu'elles soient brillantes, c'est-à-dire que l'image soit exempte de voile ; en effet, le voile absorberait une grande partie de la lumière et l'image projetée serait grise. Il

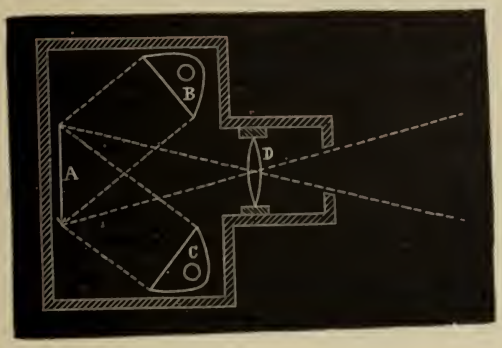


Fig. 628.

faut donc que l'épreuve présente de grands clairs bien transparents et des noirs bien accentués : cette condition est surtout indispen-

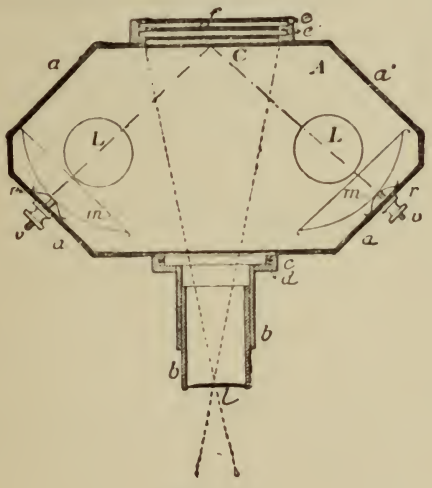


Fig. 629.

sable pour les images destinées à être projetées avec une lampe à pétrole, ou bien pour celles qui doivent être fortement amplifiées sur l'écran.

Il est évident que si l'agrandissement est considérable, l'image,

pour conserver sa netteté, doit présenter une très grande finesse. Une épreuve qui paraît agréable lorsqu'on l'examine simplement à la distance de la vision distincte peut devenir tout à fait défectueuse quand on l'examine par projection, même à un grossissement assez faible ; les traits semblent estompés, et il est impossible de mettre au point une telle image. On ne se rend bien compte de la netteté que doit présenter une épreuve pour projections que lorsque l'on a fait une série de négatifs destinés à cet objet. On reconnaît alors qu'il est indispensable d'employer de très bons objectifs pour produire ces images, et faut-il encore les munir de diaphragmes suffisants ; ces derniers ne doivent pas être plus grands que *f*/20, et, dans bien des cas, on aura avantage à les réduire à *f*/30 et *f*/40. Avec une mise au point rigoureuse, on obtient ainsi une netteté acceptable sur la plus grande partie de la plaque, qui ne doit pas mesurer plus de 0^m10 de côté, puisque le format des images pour projections est $0^m10 \times 0^m085$. Les négatifs doivent être faits sur glace ou sur verre poli.

856. Procédé photographique à employer. — En admettant que le négatif dont on veut tirer une épreuve pour projection soit parfait, il faut choisir parmi les procédés de phototirages ceux qui donnent le plus facilement à l'image positive les caractères que nous avons énumérés plus haut ; nous classerons les procédés à employer dans l'ordre suivant :

1° Le procédé sur albumine pure (**251**) ;

2° Le procédé Taupenot (**334**) ;

3° Le procédé au tannin (**336**), soit avec bain d'argent, soit par émulsion (**348**) ;

4° Le collodio-chlorure d'argent (**584**) étendu sur papier gommé et reporté sur verre ;

5° Le procédé au charbon (**658**), surtout si l'on emploie le procédé par teinture de l'image, procédé qui, nous le verrons, est très utile en microphotographie ;

6° Le gélatino-chlorure d'argent (**599**) ;

7° Le gélatino-bromure d'argent (**590**).

De tous ces procédés, celui qui donne les images les plus fines est le procédé sur albumine. C'est aussi le plus difficile à employer, tandis que l'emploi du gélatino-bromure d'argent ne présente pas de difficultés ; en revanche il donne des images qui, fortement agran-

dies, sont défectueuses à cause du grenu que présente la couche. En pratique, le procédé qui donne les résultats les plus satisfaisants sans trop de difficultés est celui qui consiste à préparer des glaces avec le collodion sec au tannin.

Le procédé étant choisi, il reste à déterminer le mode de tirage : on peut imprimer l'épreuve par contact au châssis-presse ou bien à la chambre noire en copiant par transparence le négatif.

Le procédé par contact doit être réservé aux préparations (négatifs et couche sensible destinées à la projection) faites sur glace : on perd toujours par ce procédé un peu de finesse. Les verres servant à la fabrication des plaques au gélatino-bromure que l'on trouve actuellement dans le commerce laissent beaucoup à désirer sous ce rapport ; on s'en aperçoit en projetant l'image positive. Cette image doit être faite sur verre très mince ayant environ 0^{m}001 d'épaisseur; si l'on n'emploie pas la glace, on choisira ce verre sans aucun défaut. Le verre mince s'applique assez exactement contre le négatif sous la pression du châssis à épreuves positives.

On peut employer pour imprimer les positives par contact le châssis à collodion humide. Dans un intermédiaire de dimension convenable, on place le négatif, puis par-dessus la plaque sensible, et on ferme le châssis. On supprime l'objectif de la chambre noire, et devant l'ouverture qu'il laisse à l'avant de l'appareil, on place un verre dépoli. On modifie le tirage de la chambre noire de manière à obtenir un éclairage uniforme sur une superficie plus grande que celle de l'épreuve à produire, ce qu'il est facile de vérifier par l'examen sur la glace dépolie que l'on substitue au châssis; on règle l'entrée de la lumière par des cartons ou des planchettes percées d'ouvertures de différents diamètres [1] ; on recouvre le tout d'un voile noir après avoir mis en place le châssis-négatif, on ouvre la coulisse antérieure de ce dernier et on soulève le voile noir ; on laisse agir la lumière pendant le temps nécessaire et l'on referme le châssis. Si le négatif est dur, il faut rapprocher le châssis de l'ouverture, qui doit alors être plus grande que lorsque le négatif est léger, auquel cas on imprime lentement et avec peu de lumière.

Dans bien des circonstances on est obligé de recourir au mode de tirage par transparence en copiant le négatif à la chambre noire munie d'un objectif. C'est à ce procédé que l'on doit recourir lorsque

1. A. Davanne, *La Photographie*, II, p. 51.

le négatif est de format supérieur à celui des épreuves pour projection. On réduit alors le négatif à la dimension convenable et on obtient directement l'image ; il faut opérer de même lorsque le négatif est fait sur un verre manquant de planité. Nous avons vu que ce mode de tirage permet de modifier le caractère d'une épreuve ; on pourra donc l'employer toutes les fois que le négatif sera défectueux.

Le développement des épreuves pour projection ne présente rien de particulier. Il faut éviter cependant de produire des épreuves trop intenses. On arrête le développement aussitôt que l'image est complète ; il ne faut pas chercher à obtenir l'intensité.

Le virage s'effectue au chlorure d'or en solution étendue. Les bains de virage pour les épreuves positives sur papier albuminé peuvent être employés pour cette opération. Il faut éviter de virer trop fortement les épreuves ; la teinte bleue n'est pas avantageuse pour les projections. Le fixage et les lavages s'exécutent comme à l'ordinaire.

857. Montage des épreuves. — Lorsque les épreuves sont sèches. il s'agit de les préserver de la poussière et des causes nombreuses qui pourraient altérer la couche portant l'image. Dans ce but, on applique sur l'épreuve un cadre de papier noirci (voir *fig. 619*) qui permet de limiter exactement le sujet; ce cadre est placé sur la surface même qui porte l'image ; on le fixe avec deux points de colle placés dans les angles, puis on applique un verre mince sur le papier : l'image se trouve alors emprisonnée entre deux verres; on les maintient en place en collant à cheval sur chacun des bords une bande de papier noir qui forme ainsi un cadre tout autour des verres; on laisse sécher le papier, puis on place une étiquette assez longue sur laquelle on inscrit l'indication du sujet représenté par l'épreuve. Il n'y a plus alors qu'à marquer à l'aide d'une autre étiquette le sens suivant lequel le verre doit être introduit dans l'appareil de projection ; ce détail, comme l'a fait remarquer Molteni, est des plus importants.

Les images pour projection se conservent dans des boîtes à rainures semblables à celles que l'on emploie pour classer les négatifs sur verre. Lorsque l'on aura une série de vues à projeter il est bon de les classer rigoureusement d'après l'ordre suivant lequel elles doivent se ranger dans l'appareil. Il ne faut pas compter choisir les diverses images au moment de les introduire dans le châssis de la lanterne ; cette opération doit être faite en quelque sorte machinalement par

l'opérateur chargé d'effectuer le changement des images. En pratique, on place les positives dans une boîte à rainure à portée de la main, les positives étant disposées en ordre et toutes dans le même sens ; lorsqu'elles ont été projetées, on les pose *à plat* dans une boîte à compartiments placée *sous* le pied de l'appareil, tandis que la boîte à raînures se trouve *à côté* de la lanterne et sur le même plan qu'elle. En opérant ainsi on évite toute confusion, ce qui est extrêmement important pour le conférencier chargé d'expliquer ce que représentent les images mises sous les yeux des auditeurs.

BIBLIOGRAPHIE.

DAVANNE. *La Photographie*, t. II.

FOURTIER. *Nouveau manuel des projections lumineuses.*

MOLTENI. *Instructions pratiques sur l'emploi des appareils de projection.*

CHAPITRE VI

RÉDUCTIONS, PHOTOMICROGRAPHIE.

§ 1. — RÉDUCTIONS.

858. Réductions. — Nous avons vu que l'objet et son image sont liés par la loi des points conjugués, loi qui permet de déterminer la dimension de l'image lorsqu'on connaît la distance de l'objet à l'objectif et la distance focale de l'objectif. On peut donc calculer l'amplification que l'on obtiendra dans certaines conditions, et réciproquement on pourra déterminer les conditions nécessaires pour obtenir la réduction d'une image à une échelle déterminée. Si l'on suppose dans l'appareil d'agrandissement que l'écran sur lequel se peint l'image devienne l'objet et que l'épreuve à amplifier devienne l'écran, on obtiendra une image reduite de l'objet.

Les réductions ne diffèrent donc pas, en général, des reproductions que l'on est appelé à faire le plus souvent. Les règles qu'il faut observer sont extrêmement simples, surtout s'il s'agit de réduire une surface plane à une certaine dimension. Si l'on veut, par exemple, réduire une carte, on la placera verticalement sur un chevalet et, à l'aide du dispositif de M. Huguenin (**182**), on vérifiera si le plan de la carte est bien perpendiculaire à l'axe de l'objectif; on se servira, soit d'un triplet, soit d'un rectilinéaire ou de tout autre objectif dans lequel la distorsion est réduite au minimum. Quant au procédé photographique à employer, il dépend de la nature du sujet à reproduire; si le sujet présente des détails très fins, on aura recours soit au procédé sur collodion, soit au procédé sur albumine.

La réduction s'applique assez souvent à un négatif de dimensions moyennes ($0^m18 \times 0^m24$) par exemple, que l'on veut amener au format plus petit des épreuves pour projection. Dans ce cas, on opère à la chambre noire en plaçant derrière le grand négatif un verre dépoli

que l'on éclaire uniformément et avec plus ou moins d'intensité selon la nature du négatif. L'emploi d'une chambre noire à trois corps (*fig. 179*, **182**) est particulièrement avantageux pour ce procédé; on peut aussi se servir de deux chambres noires, comme s'il s'agissait d'obtenir un agrandissement (**828**) : ces deux chambres sont quelquefois appelées *chambres à foyers conjugués*.

Dans certains cas, la réduction d'un grand sujet donne des images tellement petites qu'elles ne sont plus visibles qu'à la loupe, ou bien à l'aide d'un appareil de projection ; on comprend que, dans ce cas, les images doivent être extrêmement nettes. Il faut employer d'excellents objectifs à foyer assez court, et la mise au point doit être réglée avec une forte loupe servant à examiner l'image qui se forme sur une glace polie occupant la place que viendra prendre plus tard la couche sensible. Cette surface sensible sera obtenue soit à l'aide de collodion, soit à l'aide de l'albumine.

Ce procédé de réduction a été recommandé pour photographier des documents importants tels que les actes de l'état civil, le livre de la dette publique, etc.; on pourrait conserver ainsi sous un faible volume et reproduire à un certain nombre d'exemplaires les documents les plus précieux que la photographie, avec son caractère d'indéniable authenticité, permettrait de multiplier suivant les besoins. Ces applications sont jusqu'à ce jour extrêmement restreintes; on a réduit ainsi des pages de divers auteurs, de livres sacrés, etc. Ce sont là des objets de pure curiosité.

859. Applications à l'envoi des dépêches. — L'une des applications les plus intéressantes et les plus utiles que l'on fasse des réductions photographiques est celle qui consiste à les employer au service des dépêches. Ce moyen est extrêmement précieux en temps de guerre : les dépêches peuvent être copiées à un très grand nombre d'exemplaires sur des pellicules d'une légèreté et d'une souplesse extraordinaire; on leur fait franchir les lignes ennemies par le service des pigeons voyageurs.

Le procédé qui a fourni les meilleurs résultats consiste à imprimer les dépêches en gros caractères typographiques; les épreuves de ces dépêches sont collées sur des panneaux et reproduits d'une manière très nette par la photographie. En pratique, on les réunit par panneaux de douze à seize pages in-folio contenant un très grand nombre de dépêches (on a pu en reproduire ainsi plus de trois mille). Ce

grand panneau est réduit sur une glace sensible préparée au collodion. On choisit un collodion donnant des images aussi fines que possible. Les seize in-folio, formant un panneau d'environ $2^m \times 2^m60$, sont réduits sur une seule glace de $0^m036 \times 0^m060$; on obtient ainsi à l'aide du procédé au collodion un phototype négatif dont on tire par superposition autant de positives qu'il est nécessaire. Pour ce tirage, on emploie un collodion très mince, très souple et donnant des images très fines; on détache ces pellicules soit à l'aide d'une faible couche de caoutchouc, soit à l'aide de gélatine ou par tout autre moyen ; l'important est d'obtenir une pellicule souple, transparente, et qui, pour le format indiqué, ne pèse pas plus de $0^{gr}025$. C'est ainsi que pendant la guerre de 1870, Dagron a préparé des pellicules assez légères pour que l'administration des télégraphes puisse confier à un seul pigeon *dix-huit* pellicules pesant moins d'un demi-gramme et donnant un total de plus de cinquante mille dépêches; c'est là un chiffre maximum. En pratique, chaque pigeon peut porter dix pellicules, qui contiennent plus de trente mille dépêches.

La lecture de ces dépêches, à l'arrivée, se fait à l'aide d'un appareil d'agrandissement qui les projette sur un écran; on les photographie de nouveau et on les adresse au destinataire par les voies en usage dans le service télégraphique.

Les procédés anciens (collodion, albumine) sont à peu près exclusivement employés pour la confection de ces dépêches. Nous n'avons pas à indiquer ici les moyens qui permettent de rendre les manipulations faciles et certaines, car le service des dépêches par pigeons est, en France, sous la dépendance de l'administration de la guerre; c'est un auxiliaire précieux pour la défense du territoire.

L'envoi des dépêches par pigeons voyageurs a été proposé en 1870 par Barreswil[1]. De Lafollye et Blaise photographiaient les dépêches écrites en gros caractères sur panneaux bien plans ; la réduction était faite à $\frac{1}{300}$ de la dimension originale. Suivant les indications de Barreswil, les phototypes négatifs étaient faits à un très grand nombre d'exemplaires. Blaise et Terpereau, de Bordeaux, les imprimaient sur papier albuminé préparé de façon à recevoir une épreuve sur chaque face. Mame. de Tours, et Juliot montrèrent les avantages que l'on peut retirer de la reproduction d'une impression typographique. Les gros caractères typographiques sont bien supérieurs aux meilleures copies faites à la main qui, par réduction, deviennent par trop fines. Dagron, Fernique et Poisot[2], partis de Paris en ballon le

1. De Lafollye, *Dépêches par pigeons voyageurs pendant le siège de Paris.*
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1871, p. 12.

12 novembre 1870 et arrivés à Tours neuf jours après en échappant à grand'peine aux lignes ennemies, essayèrent d'employer les moyens usités alors en photomicrographie ; ils durent y renoncer et utilisèrent les procédés que nous avons décrits plus haut. G. Lévy, l'habile photographe alors attaché à la mission d'Almeida [1], fut aussi l'un de ceux qui mirent leur talent au service de l'Administration pendant la guerre de 1870. Les procédés employés dès le début ont été singulièrement perfectionnés, et grâce à la photographie, il ne paraît pas possible à l'heure actuelle de priver de communications avec le dehors une ville quelconque malgré l'investissement le plus rigoureux.

§ 2. — PHOTOMICROGRAPHIE.

860. Procédé industriel. — La production des images microscopiques destinées à être collées à l'extrémité d'un stanhope s'exécute industriellement en copiant un grand négatif. La copie se fait à

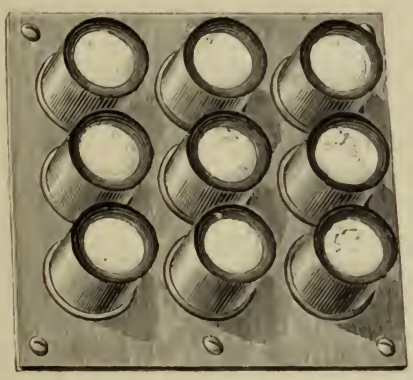


Fig. 630.

un très grand nombre d'exemplaires à la fois (neuf, vingt-cinq ou même cinquante), grâce à une planchette portant un grand nombre d'objectifs fixés sur un carré métallique *(fig. 630)*. Ces objectifs sont disposés sur une planchette métallique de manière à former tous leur foyer principal sur un même plan ; avec cinquante objectifs on obtient cinquante images sur une surface de $0^m06 \times 0^m12$. On se sert en général d'une plaque de la dimension $0^m13 \times 0^m18$ qui, grâce à un châssis multiplicateur semblable à ceux employés dans les chambres à portraits, permet d'obtenir cent images sur la même plaque.

1. Décembre 1879.

La mise au point doit s'effectuer avec le plus grand soin. On remplace la glace dépolie ordinaire par le châssis négatif à collodion humide, dans lequel on place une *glace ordinaire* bien polie au centre de laquelle on a tracé quelques fines hachures avec un diamant; à l'aide d'une forte loupe à tirage, on examine d'abord ces traits et on arrête la mise au point de la loupe pour cette glace; on peut alors mettre au point l'image du négatif à reproduire par transparence. Cette mise au point doit se faire à l'aide d'une vis sans fin qui entraîne la partie antérieure de la chambre noire. Il est mieux, sous le rapport industriel, d'avoir une chambre à foyer fixe et dans laquelle la distance du sujet aux objectifs et celle des objectifs à la glace sensible est à peu près invariable; la réduction est toujours à la même échelle, ce qui abrège beaucoup le travail.

Le procédé employé pour préparer la couche sensible est celui du collodion sec, qui, bien que nécessitant un temps de pose plus long que si l'on employait le collodion humide, offre de grands avantages sous le rapport de la finesse de l'image. On ne peut songer à se servir des préparations au gélatino-bromure d'argent parce qu'elles présentent un grain considérable lorsqu'elles sont agrandies; de plus, lorsque l'on coupe les images pour les séparer, la pellicule de gélatine se soulève presque toujours, ce qui entraîne la perte de l'épreuve.

Dans certains cas, lorsqu'il s'agit d'obtenir des images extrêmement fines, telles que reproductions de livres, de manuscrits, etc., on se sert du procédé sur albumine qui donne une très grande finesse.

Le développement de ces images ne présente rien de particulier, si ce n'est que l'on doit suivre l'opération en s'aidant d'une loupe; le fixage et les lavages s'effectuent comme à l'ordinaire. La plaque est vernie à l'aide d'un vernis contenant 15 grammes de benjoin pour 100 c. c. d'alcool. On examine alors l'image, et à l'aide d'une très forte loupe, on vérifie si les diverses épreuves sont assez bonnes pour être fixées au stanhope; on marque d'une croix celles qui doivent être rejetées. On découpe alors les photographies par petits carrés à l'aide d'un diamant ordinaire; l'opération s'exécute avec une règle spéciale qui permet d'obtenir d'abord des bandes des petites images, puis de petits carrés. La plaque de verre repose à plat sur plusieurs doubles de papier buvard; c'est sur le côté opposé à la couche que l'on fait passer le diamant.

Les images étant destinées à être vues avec le petit cylindre de verre AB *(fig. 631)* appelé stanhope, il faut coller la petite épreuve

Phototype de F. Hickel

Photoglyptographie de A. Lumière & ses Fils

ÉPREUVE PHOTOGLYPTOGRAPHIQUE

sur la face plane B. On essuie d'abord la face du verre portant l'image, puis on chauffe le stanhope à l'aide d'un bain de sable B *(fig. 632)*, composé d'un plateau creux en tôle, garni de sable fin et recouvert d'un drap noir C; on place les stanhopes sur ce drap à droite, et on dispose symétriquement à gauche les petits carrés portant l'image, la couche en dessus; on enduit avec un peu de baume

Fig. 631.

du Canada F préalablement chauffé la surface du stanhope que l'on saisit avec des pinces; on l'applique directement sur un des petits carrés de verre en pressant à l'aide de la pince K; on regarde alors par l'extrémité arrondie du cylindre qui, faisant microscope, montre agrandie et distincte l'image fixée à la base. Si des bulles d'air apparaissent encore, c'est que l'on n'a pas pressé assez fortement ou

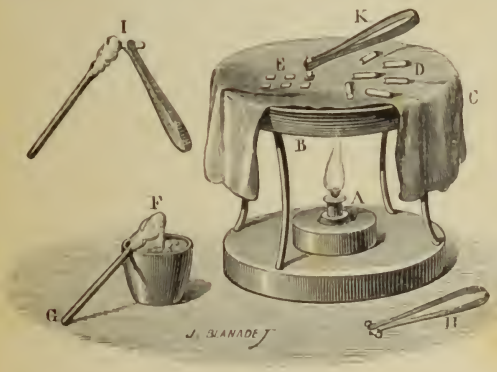


Fig. 632.

assez également contre la base du stanhope; on le remet alors sur le drap pour rendre au baume du Canada un peu de fluidité et l'on recommence le collage avec plus de précautions. Cet examen ne se fait que lorsque toute une série de stanhopes est refroidie; avec de l'habitude, le montage se fait très rapidement et d'une manière en quelque sorte mécanique: certaines ouvrières peuvent arriver à monter plus de cinq cents épreuves à l'heure.

Il ne reste plus pour terminer le travail qu'à affleurer ou arron-

dir le stanhope et l'image qui ne font qu'un tout; on y parvient en employant une meule d'opticien. On peut alors livrer l'épreuve au commerce de la bimbeloterie.

Dagron[1] se servait d'une chambre noire à un seul objectif : la mise au point s'effectuait en faisant tourner l'objectif sur un pas de vis. Duboscq[2] a construit un appareil à multiplicateur permettant d'obtenir quatre-vingt-dix épreuves sur une glace en employant un seul objectif. La glace sensible est placée dans un cadre rectangulaire qui peut être animé d'un mouvement horizontal; du côté opposé à ce cadre multiplicateur se trouve un objectif combiné à deux verres qui peut recevoir un mouvement vertical de bas en haut; l'image est mise au point à l'aide d'un microscope composé en employant un micromètre tracé sur une glace que l'on place dans le châssis à épreuves.

La mise au point pour le microscope et pour l'objectif s'effectue non pas à l'aide de crémaillère ou de vis sans fin, mais au moyen d'un anneau que l'on anime d'un mouvement de rotation soit à droite soit à gauche : on obtient ainsi une mise au point à mouvement lent et par suite très précise.

La plaque préparée au collodion sec est placée dans le châssis, et il s'agit de faire glisser ce châssis de manière que l'objectif vienne occuper toutes les positions correspondant au mouvement horizontal que le cadre peut exécuter; on élève ensuite l'objectif d'une division de son mouvement vertical et l'on fait revenir le cadre horizontalement; à chaque division du mouvement du cadre on s'arrête pendant le temps nécessaire à la pose. Le mouvement horizontal du cadre (mouvement identique à celui des multiplicateurs ordinaires) comporte quinze divisions; le mouvement vertical de l'objectif comportant six divisions, on pourra placer quatre-vingt-dix épreuves sur la glace entière. Ces épreuves sont développées, fixées et terminées comme nous l'avons indiqué.

Bertsch a fait construire, sous le nom de chambre microscopique, un petit appareil en métal consistant en une chambre noire avec objectif à très court foyer donnant des images nettes à partir de 1 mètre. Cette chambre, qui a servi à faire des réductions microscopiques, est une des premières chambres automatiques qui aient été construites; elle pouvait servir soit à obtenir des phototypes négatifs, soit des positives transparentes de format très réduit.

1. *Traité de photographie microscopique.*
2. Van Monckhoven, *Traité général de photographie*, 5e édit., p. 233.

BIBLIOGRAPHIE

DAGRON. *Traité de photographie microscopique.*
— *La poste par pigeons voyageurs.*
DAVANNE. *La Photographie*, t. II.
LAFOLLYE (DE). *Dépêches par pigeons voyageurs pendant le siège de Paris.*
PIERRE PETIT fils. *La Photographie industrielle.*
VAN MONCKHOVEN. *Traité général de photographie;* 5e édition.

LIVRE XXV

IMAGES DITES INSTANTANÉES

CHAPITRE PREMIER

§ 1. — MATÉRIEL.

861. Obturateurs. Objectifs. — La durée du temps de pose nécessaire pour obtenir un phototype peut être extrêmement courte dans certains cas; les épreuves faites dans ces conditions sont dites *instantanées*. Nous avons décrit (**88**, **203**) les conditions que devaient réaliser les instruments qui permettent d'obtenir une exposition à la lumière suffisamment courte pour photographier les objets en mouvement; nous avons vu qu'il fallait *avant tout* se préoccuper du rendement de l'obturateur (**203**) et de la facilité de son maniement. Nous avons assez longuement traité cette question (t. I, chap. VII, § 2); il nous paraît inutile d'y revenir ici. Il nous suffira de rappeler que l'on doit choisir un obturateur à grand rendement et facile à manier. Les obturateurs circulaires (à ouverture en forme de secteurs) sont généralement ceux dont le maniement est le plus facile; ces instruments, bien construits, répondent à toutes les exigences de la photographie instantanée.

Nous avons indiqué (**180**) quel était l'objectif qu'il convenait de choisir pour les épreuves instantanées. Il faut donner la préférence à celui qui, avec le plus grand diaphragme, embrasse le plus grand angle. Lorsque l'on peut opérer avec un objectif dont le rapport de clarté pourra être égal ou inférieur à *f*/20, on se servira des objectifs simples. Les nouveaux objectifs simples *rapides*, le *rectilinéaire* simple, l'anastigmat d'Hartnack (objectif simple nouveau qui per-

met d'opérer avec un diaphragme égal au dixième de sa distance focale), sont les instruments qui conviennent le mieux.

Dans les conditions les plus difficiles, on emploiera les nouveaux euryscopes de Voigtlander, désignés sous le nom d'euryscopes rapides grands angulaires; le rapport de clarté de ces objectifs est environ $\frac{1}{6}$ et l'angle du champ atteint ou dépasse même 80°. Berthiot a récemment construit en France des objectifs assez semblables à ceux de Voigtlander; enfin, dans ces derniers temps[1], un célèbre constructeur de microscopes, Zeiss, utilisant les calculs du Dr Abbe, a mis dans le commerce plusieurs séries d'objectifs extrêmement remarquables, parmi lesquels nous citerons :

1° Le *triplet apochromatique*, composé de *cinq* lentilles. La frontale et la lentille postérieure sont constituées par des verres *simples non achromatiques;* entre les deux se trouve une combinaison de *trois* lentilles collées. Le rapport de clarté de cet objectif est environ $\frac{1}{6,3}$ et, avec un petit diaphragme, il donne un champ d'environ 92°. En pratique, il peut donner pour les instantanées un champ d'environ 60° avec une grande profondeur de foyer.

2° L'*anastigmat rapide,* dont le rapport de clarté est $\frac{1}{6,5}$, est un doublet composé de *cinq* lentilles. La combinaison antérieure est formée d'un ménisque convergent, achromatique, presque plan convexe. Le système postérieur comprend trois lentilles collées; le diaphragme se place presque en contact avec cette dernière combinaison. La profondeur de foyer de cet objectif est très considérable; avec un diaphragme moyen (*f*/12,) il donne un champ circulaire net sur une étendue de 53°; avec de petits diaphragmes, il peut donner un champ de 75°.

3° L'*anastigmat grand angle rapide* est un doublet à quatre lentilles. Les deux combinaisons qui le constituent sont très rapprochées l'une de l'autre; le rapport de clarté de cet objectif étant $\frac{1}{10}$, les lentilles qui le composent sont assez petites; avec un diaphragme *f*/18 (ouverture très suffisante pour les instantanées), il donne un champ de netteté dont l'angle dépasse 60°; enfin, avec le

1. Août 1890.

plus petit diaphragme, le champ circulaire correspond à un angle de 95°. C'est donc un objectif universel pouvant servir pour les instantanées, les monuments, les paysages et les reproductions; de plus, son volume très réduit permet de le transporter facilement.

Les essais récents que nous avons fait des combinaisons de Zeiss nous ont amené à des conclusions analogues à celles qui ont été formulées par le Dr Eder [1], par le Dr Stolze [2] et par le Dr Vogel [3]. Les nouveaux objectifs sont appelés à rendre d'immenses services pour la production des instantanées; grâce à l'angle considérable qu'ils embrassent, ils permettent d'opérer alors qu'avec les autres instruments le travail n'est pas possible.

862. Chambres noires. — Les chambres noires de voyage (**106**) sont généralement les plus employées pour obtenir les négatifs instantanés. La construction de ces appareils doit être aussi soignée que possible et les châssis en particulier ne doivent laisser passer aucun filet de lumière par leurs joints. Le plus souvent on opère en plein soleil et la plaque sensible reste découverte dans la chambre noire pendant un certain temps; par suite, la plus petite fissure dans l'une des parties de l'appareil peut être la cause d'images voilées. On ne se rend bien compte de la difficulté qu'il y a à obtenir un matériel convenable qu'après avoir opéré dans les conditions les plus diverses. On reconnaîtra alors que presque tous les châssis négatifs, sauf ceux à rideaux, laissent passer la lumière, ce qui se traduit au développement par des raies plus ou moins noires partant des angles de la plaque; le châssis à rideau offre d'ailleurs l'avantage de pouvoir être ouvert et fermé très rapidement.

L'appareil employé ne doit pas être trop léger; il faut, en effet, qu'il puisse résister à la réaction du dispositif de déclanchement. Il est à peu près impossible de produire des épreuves nettes avec des appareils trop légers, ou, ce qui revient au même, avec des obturateurs dont les ressorts sont très puissants. Abney a le premier appelé l'attention sur ce point; il a même recommandé d'employer un obturateur séparé de la chambre et de l'objectif par un manchon en étoffe noire [4]. Il n'est pas nécessaire de prendre cette précaution

1. *Phot. Correspondenz*, juillet 1890.
2. *Photogr. Nachrichten*, 1890, nos 34 et 35.
3. *Phot. Mittheilungen*, 1890.
4. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, juin 1880, 7e année, page 30.

si l'appareil présente un certain poids et si le déclanchement de l'obturateur s'effectue avec une douceur suffisante.

Les chambres noires que l'on peut tenir à la main (**111**) sont fréquemment employées pour la production des épreuves instantanées; ces appareils doivent être d'un faible volume et toujours prêts à servir. A cause de la longueur focale que doit posséder l'objectif pour couvrir nettement la plaque sensible, cette dernière doit être de dimension assez réduite, et, en pratique, on ne dépasse guère le format $0^m13 \times 0^m18$. Le plus souvent même, pour cette dimension, on se sert d'une chambre pouvant se replier, ce qui permet de diminuer le volume pour le transport; mais, dans ce cas, puisqu'il faut ouvrir l'appareil pour opérer, la seconde condition n'est pas réalisée et la perte de temps nécessaire au montage de l'instrument est souvent préjudiciable à la réussite de l'épreuve. La seule opération que l'on puisse faire si l'objectif n'est pas à très court foyer est la mise au point. Deux moyens principaux permettent de faire très rapidement cette opération : on peut se servir d'une chambre noire à deux corps, comprenant deux objectifs de même foyer et que l'on peut mettre simultanément au point; l'un des objectifs, constamment ouvert, envoie son image sur la glace dépolie, l'autre objectif, muni d'un obturateur instantané, forme son foyer sur la plaque sensible placée dans un châssis négatif. On peut donc suivre le sujet à photographier, le mettre au point et agir sur l'obturateur au moment le plus convenable. Ce dispositif a été employé pour la première fois par Disdéri, puis par York[1] qui s'en servait pour photographier les animaux. Dans ces derniers temps, plusieurs constructeurs ont remplacé l'objectif, assez coûteux, par une lentille simple ordinaire de même foyer que l'objectif. On peut se servir ainsi d'objectifs à long foyer.

Le second moyen consiste à employer une chambre noire à prisme ou mieux (I, p. 246) à miroir de verre argenté à sa surface; on évite ainsi le changement de foyer apporté par l'introduction du prisme. On a objecté que l'argenture du miroir se ternissait; mais, comme nous le verrons plus loin, il est tout aussi facile d'argenter un petit miroir que de développer un négatif: lorsque l'opération est faite correctement, l'argenture peut durer pendant plusieurs années.

Dessoudeix a tout récemment construit un nouveau type de chambre

1. *British Journal of Photogr.*, 1873, et *Bulletin belge de la photographie*, 1873, p. 50.

à main, dans lequel sont combinés les deux moyens que nous venons d'indiquer pour mettre au point au moment d'opérer. Il emploie deux objectifs A et A′ (*fig. 633*), l'un pour viser, l'autre pour mettre au point. A l'intérieur, l'appareil est divisé en deux parties absolument distinctes : en face de l'objectif inférieur A se trouve une chambre noire F et l'image est reçue sur la plaque sensible qui se trouve dans le magasin H; l'image donnée par le second objectif A′ est ren-

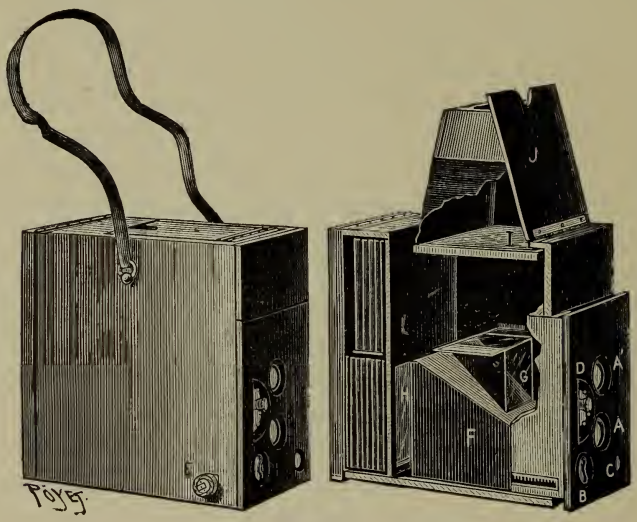


Fig. 633.

voyée au moyen d'un prisme à réflexion totale G sur un verre dépoli supérieur I. L'appareil est réglé de telle manière que lorsque l'image est nette sur le verre dépoli elle l'est rigoureusement sur la plaque sensible. La vitesse de l'obturateur peut être modifiée à l'aide de la manette D. On arme l'obturateur à l'aide de la pièce B et le déclanchement s'effectue à l'aide du bouton C. Cet obturateur peut être armé sans démasquer la plaque. Il est indispensable de pouvoir examiner l'image sur le verre dépoli sans se servir du voile noir; dans ce but, le dispositif J (semblable à celui que l'on employait dans les premiers temps du daguerréotype [1]) permet de faire la mise au point avec une très grande facilité. Cet appareil a été imaginé par Londe et Dessoudeix; il donne de bons résultats.

863. Appareils automatiques. — Les difficultés qui résultent

1. Nous possédons une chambre noire, construite en 1839, qui présente ce dispositif.

de la mise au point de l'objectif peuvent être en partie évitées en employant des appareils dits *automatiques*. Ce sont des chambres noires dans lesquelles la mise au point est faite une fois pour toutes. Les premiers appareils de ce genre ont été construits par Chevalier sur les indications de M. Civiale; plus tard, Bertsch et plusieurs autres ont construit des instruments analogues. Ces chambres noires sont basées sur ce que (si l'on emploie des objectifs de foyer assez court) la variation de distance focale correspondant à des variations de distance de l'objet devient pratiquement insensible pourvu que l'objet soit à une distance convenable; or, nous avons vu (**170**) que la *profondeur de foyer* d'un objectif ne devenait infinie (c'est la condition même de l'automatisme) que lorsque la distance D_0 du point-objet à l'objectif était égale à $\frac{F^2}{n\omega}$, F étant la distance focale principale, $\frac{1}{n}$ le rapport de clarté et ω le diamètre du cercle de diffusion.

L'automatisme est donc essentiellement variable suivant la longueur focale, le diaphragme et la netteté que l'on veut obtenir; cela résulte de l'examen des tableaux **170 A**, **170 B** et **170 C**. Dans la pratique de l'instantanéité, on peut admettre que l'on opère avec un diaphragme *f*/15; de plus, si l'on se sert d'un instrument permettant de couvrir une plaque de $0^m9 \times 0^m12$, cet objectif devra avoir un foyer d'au moins 0^m15. Dans ces conditions bien définies, l'automatisme de l'appareil dépendra de la netteté que nous exigerons.

1° Si l'image est dite nette lorsque le cercle de diffusion a un diamètre de 0^m00025, la mise au point sera exacte à partir de 6^m30 (tableau **170 A**);

2° Si l'on est plus exigeant et si on désire une netteté plus grande, correspondant à des cercles de diffusion tolérée dont le diamètre est de 0^m0002, la distance du premier plan devient 7^m50 (tableau **170 B**);

3° Enfin, si l'image produite est destinée à l'agrandissement ou à la projection, le diamètre des cercles de confusion ne doit pas dépasser 0^m0001; dans ce cas, l'objectif ne sera automatique qu'à partir de 15 mètres.

On voit donc qu'avec un même objectif de 0^m15 de foyer, diaphragmé à *f*/15, les premiers plans devront se trouver à 6^m30, à 7^m50 ou à 15 mètres, suivant la netteté que l'on désirera obtenir. Ces divers plans pourraient d'ailleurs être plus rapprochés de l'appareil si l'on

pouvait employer un diaphragme plus petit que *f*/15; ils devraient, au contraire, être plus éloignés si l'on était obligé d'employer des diaphragmes plus grands.

Ces exemples, que nous pourrions multiplier, montrent qu'en général l'appareil automatique n'est pas d'un usage très pratique, même s'il s'agit d'obtenir des images de petite dimension. C'est ce que la plupart des constructeurs ont compris, et c'est pour cette raison qu'ils ont rendu l'objectif mobile dans la direction de l'axe de l'appareil, de façon à permettre une mise au point exacte. Mais le plus souvent on n'a pas le temps matériellement nécessaire pour exécuter convenablement cette opération; il faut alors apprécier la distance et mettre au point pour cette distance d'après les repères gravés sur le tube de l'objectif. L'appréciation des distances entraîne bien des causes d'erreurs; on les atténuera en se servant de diaphragmes assez petits pour obtenir une profondeur de foyer suffisante.

Nous avons indiqué (**111**) les principales chambres noires à mains; une de celles dont l'emploi est le plus pratique est le nouveau Kodak pour épreuves de $0^m13 \times 0^m18$. L'emploi du châssis à rouleau Eastmann est particulièrement avantageux pour la production des instantanées et permet d'opérer très rapidement.

§ 2. — PROCÉDÉ OPÉRATOIRE.

864. Choix du sujet. — Le choix du sujet à photographier est fort important, et il ne faudrait pas croire que tous les objets qui se déplacent soient susceptibles d'être photographiés instantanément. Il faut, pour cela, que ces objets se trouvent dans des conditions particulières d'éclairage et que la plaque sensible reçoive une quantité de lumière suffisante pour que le développement fournisse une image suffisamment détaillée.

Ces conditions ne sont pas toujours faciles à concilier. Soit à photographier un objet, la chambre noire étant dirigée suivant *os* (*fig. 634*), il est évident que le sujet enverra le maximum de lumière à la plaque sensible lorsque les rayons lumineux qui l'éclairent seront dirigés de *o* vers *s*; mais l'image obtenue, facile à développer dans ces conditions, manquera de relief, il n'y aura pas d'ombres portées. Ces ombres, au contraire, existeront si la direction des rayons

lumineux fait un certain angle avec celle de l'axe de l'objectif; le maximum d'effet sera obtenu pour les rayons faisant un angle de $\pm 45^{\circ}$ avec cet axe (l'angle étant compté de o vers a ou vers b''). Les

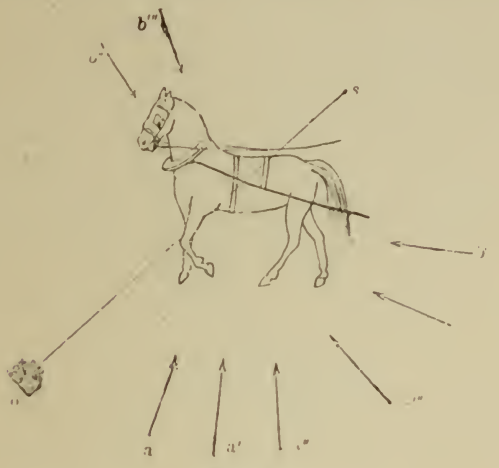


Fig. 634.

directions a, a', a'' donneront des images bien modelées. Si l'angle formé par la direction des rayons lumineux avec celle de l'axe optique fait un angle voisin de $\pm 90^{\circ}$, les images obtenues sont sans vigueur

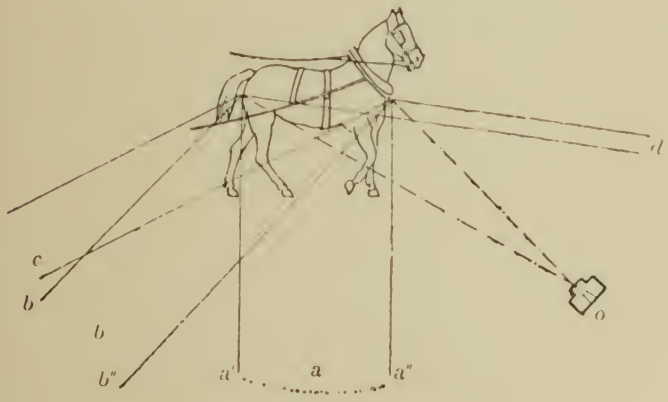


Fig. 635.

et manquent de détails; si l'on dépasse $\pm 90^{\circ}$, les ombres portées prennent trop d'importance, l'image est noire, et, sauf dans quelques cas spéciaux, l'épreuve est mauvaise, elle manque de pose. Si l'on

suppose que le sujet principal reçoive un faisceau de rayons solaires, ce faisceau donnera d'autant plus de lumière que sa direction sera plus voisine de la perpendiculaire au plan tangent à la surface principale à reproduire; c'est ainsi que l'appareil étant en *o* (*fig. 635*), l'éclairage *a' a''* permettra une reproduction plus facile que si les rayons lumineux venaient de *b*, de *c* ou de *d*.

L'éclairage étant choisi, il faut composer le tableau. Nous ne saurions donner ici de règles précises, car cette composition est une question de goût. Pour certaines instantanées, cependant, on peut fixer quelques règles. C'est ainsi que pour les scènes de rue on peut choisir souvent les accessoires, se placer de telle sorte que le sujet à

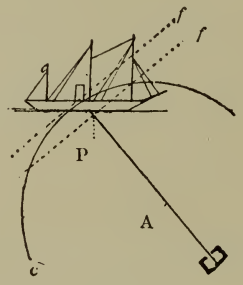


Fig. 636.

reproduire s'harmonise avec le fond. Si, par exemple, c'est un objet foncé, il devra se détacher sur un fond clair et vice versâ. Dans aucun cas, il ne doit occuper exactement le milieu du tableau : c'est là une condition contraire aux exigences de la netteté. Mais mieux vaut alors sacrifier l'un des côtés de l'épreuve que de produire de ces images tout au plus acceptables comme document et dans lesquelles le sujet principal est placé au centre d'une circonférence circonscrite à la plaque; d'ailleurs, il peut fort bien arriver que, sous le rapport optique, cette disposition ne soit pas aussi avantageuse qu'elle le paraît de prime abord. C'est ainsi que s'il s'agit, par exemple, de photographier un bateau à vapeur, on ne disposera pas l'appareil de manière à mettre au point le centre P (*fig. 636*) du bateau. *ff* étant la profondeur de foyer de l'objectif; on fera la mise au point sur l'arrière du bateau, en supposant, bien entendu, que le mouvement s'effectue dans une direction oblique par rapport à l'axe de l'appareil. Cette obliquité est d'ailleurs nécessaire à la netteté, comme nous l'avons déjà indiqué (**200**).

Lorsqu'il s'agit de reproduire plusieurs objets sur des plans différents avec le maximum de netteté, il faut disposer l'appareil de manière à favoriser la courbure du champ. Soit O (*fig. 637*) le sujet principal, *ff'* la profondeur de foyer totale de l'objectif, on disposera l'objet principal O sur l'un des côtés de la plaque, le groupe I moins important au centre de la plaque et de telle sorte qu'il corresponde au sommet de l'arc *cc'* représentant la courbure du champ. Un objet

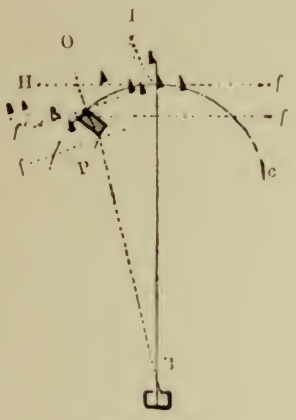


Fig. 637.

accessoire pourra être placé à l'opposé du sujet principal, dans le voisinage de *c'* ; cet objet servira soit à équilibrer le sujet principal, soit à faire contraste avec lui.

§ 2. — PROCÉDÉ OPÉRATOIRE.

865. Temps de pose. — Le procédé au gélatino-bromure d'argent est actuellement le seul procédé employé pour la production de négatifs instantanés. Niepce de Saint-Victor avait photographié sur plaque à l'albumine des objets en mouvement. Le Gray a obtenu des négatifs de ce genre sur papier ciré, Taupenot sur plaques préparées à l'albumine et au collodion, Ferrier sur plaques au tannin, Stuart Wortley sur couches de collodio-bromure : ce sont là des exceptions et la plupart des anciennes épreuves instantanées étaient imprimées d'après des négatifs au collodion humide, procédé que la grande sensibilité des plaques au gélatino-bromure a fait abandonner.

Nous avons vu que la durée d'action totale d'un obturateur n'était pas la qualité la plus importante que devait posséder cet instrument : le rendement (**203**) doit être aussi grand que possible afin que l'on puisse développer facilement l'image ; par suite, le temps de pose n'a pas besoin d'être connu exactement. Cette détermination ne peut d'ailleurs être faite avec précision, mais il importe de connaître si l'obturateur employé permettra d'obtenir des objets en mouvement avec une netteté suffisante : c'est l'expérience, et l'expérience seule, faite avec l'obturateur et l'objectif que l'on emploie, qui peut renseigner à cet égard. Toute graduation de vitesse exprimée en durée de fonctionnement est purement illusoire ; elle ne sert absolument qu'à tromper l'opérateur (**200**). Ce n'est pas à dire pour cela que l'obturateur ne doive posséder une graduation des vitesses, mais il faut et il suffit que ces diverses vitesses soient indiquées par des numéros d'ordre ; la condition est nécessaire, car avec le même éclairage, le même objet dans les mêmes circonstances, on doit pouvoir opérer avec la vitesse que l'expérience a préalablement indiquée. La condition est suffisante, car peu importe la durée réelle du temps de pose lorsque l'on sait qu'avec une vitesse connue, indiquée par un numéro d'ordre, on obtiendra une impression qui permettra de développer la plaque sensible. L'obturateur doit pouvoir être armé facilement et la modification de vitesse doit pouvoir être obtenue rapidement et d'une manière certaine.

Nous avons vu que la profondeur du champ utile d'un objectif (**158**) comprenait la profondeur *antérieure* et la profondeur *postérieure :* ces propriétés de l'objectif doivent être mises à profit pour l'opération de la mise au point. En général, on ne mettra pas au point le centre de l'image ; on commencera par mettre au point un objet situé à une distance du centre égale au tiers de la dimension de la plaque, puis on augmentera peu à peu la distance qui sépare l'objectif du verre dépoli jusqu'à ce que le centre de l'image soit *à peu près net*, on placera alors un diaphragme plus petit que celui qui a servi à la mise au point, et la netteté sera mieux répartie que si l'on eût procédé à la manière ordinaire.

866. Développement. — Presque tous les bons opérateurs qui font de la photographie instantanée se servent du développateur à l'acide pyrogallique (**432**). Depuis quelque temps on a remplacé le pyrogallol par l'iconogène (**437**), mais l'emploi de cette substance ne

s'est pas généralisé. Le révélateur à l'hydroquinone, celui au fer, ne sont employés que par un très petit nombre d'opérateurs.

Le développement doit se faire avec un bain concentré, riche en sulfite et en acide pyrogallique, mais ne renfermant qu'une petite quantité de carbonate alcalin. On emploiera pour 100 c. c. du mélange de sulfite et d'acide pyrogallique environ 1 c. c. de solution de carbonate de potasse (dissous dans l'eau à la dose de 25 grammes pour 100 c. c. d'eau). Dans ces conditions, le développement ne s'effectue pas très vite, mais les détails dans les ombres apparaissent avant que l'image ait pu prendre de l'intensité; on obtient ensuite cette intensité par une addition ménagée de carbonate de potasse et d'acide pyrogallique; au besoin, on ajoute une petite quantité d'une dissolution de bromure de potassium si la plaque présente une tendance au voile. Il est très important d'effectuer le développement avec une extrême lenteur.

L'emploi de l'iconogène donne des résultats tout à fait comparables à ceux que fournit le pyrogallol. Le développement pour phototypes instantanés se prépare en faisant dissoudre 250 grammes de sulfite de soude et 12 grammes d'iconogène dans 1 litre d'eau; la dissolution s'effectue à chaud, on filtre après refroidissement et l'on ajoute 0gr5 de bromure de potassium. Cette addition, qui a pour but de conserver les blancs du négatif, n'est pas utile avec certaines plaques du commerce. La plaque est d'abord plongée dans ce bain, puis on ajoute, par 100 c. c. de liquide employé, environ 2 c. c. d'une solution de carbonate de potasse à 25 %; l'image apparaît lentement dans ce bain et ne prend pas d'intensité. Lorsque les détails sont suffisamment visibles, on plonge la plaque dans un bain contenant 100 c. c. de solution de sulfite et d'iconogène, 50 c. c. de solution de carbonate de potasse et environ *un décigramme* de bromure de potassium : l'image acquiert très vite dans ce bain l'intensité nécessaire. Quant à la durée du développement proprement dite, elle peut atteindre plusieurs heures en employant la méthode que nous venons d'indiquer et qui permet d'obtenir de bons résultats dans les conditions les plus difficiles. On peut diminuer la durée du développement en chauffant à la température de 15° à 25° C. les diverses solutions que l'on emploie; on opère dans une cuvette verticale.

La température n'a pas cependant avec ces divers révélateurs une influence aussi nettement marquée qu'avec le développateur à l'oxalate de fer : ce dernier ne donne pas de bons résultats lorsque la tem-

pérature est trop basse, comme nous l'avons observé depuis longtemps[1]. Avec le révélateur au fer, Éder[2] a constaté que le maximum d'intensité est obtenu à la température de 26 à 28° C. Le même auteur a observé que les révélateurs concentrés au fer agissent avec plus d'énergie et donnent plus d'intensité à l'image[3]; il a conseillé de préparer le révélateur au fer en faisant dissoudre dans 100 c. c. d'eau bouillante 50 grammes d'oxalate neutre de potasse, puis 15 grammes d'oxalate ferreux; on laisse refroidir, puis on remplit de cette dissolution des flacons que l'on bouche soigneusement. Ce révélateur concentré peut aussi se préparer de la manière suivante : on fait dissoudre à chaud 50 à 60 grammes d'oxalate neutre de potasse dans 100 c. c. d'eau et on ajoute 20 grammes de sulfate ferreux; après dissolution, on met ce révélateur dans un flacon soigneusement bouché, puis on laisse reposer pendant vingt-quatre heures : il se sépare par refroidissement du sulfate de potasse qui cristallise. Le liquide obtenu forme une solution concentrée d'oxalate ferreux à la dose d'environ 12 % en poids; c'est à peu près le double de ce que contient le révélateur ordinaire obtenu par mélange de deux solutions. Ce révélateur est particulièrement pratique pour révéler les images lorsque le temps de pose a été très court; le développement s'effectue avec rapidité.

Le fixage de l'image se fait comme d'habitude. Il doit être suivi de l'alunage; on lave ensuite soigneusement comme dans les procédés usuels. On renforce, s'il est nécessaire, par l'une des méthodes que nous avons indiquées et le négatif se termine comme d'habitude.

867. Négatifs défectueux. — C'est en photographie instantanée que l'on rencontre la plus grande quantité de négatifs défectueux. Aucun procédé de photographie ne donne lieu à un aussi grand nombre d'insuccès que la photographie instantanée; de là, le dédain que professent pour elles certains vieux praticiens, en dépit des remarquables épreuves obtenues par Le Gray, Stuart Wortley, Ferrier et Soulié, Muydbrige, Marey, Anschütz, Londe, Lugardon, etc. En fait, on peut obtenir des épreuves instantanées extrêmement artistiques. C'est nier l'évidence que de ne pas tenir compte des splendides résultats obtenus; mais il faut reconnaître que les conditions

1. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1880, p. 297.
2. *Phot. Correspondenz*, 1883, p. 87.
3. *Théorie et pratique du procédé au gélatino-bromure*, 1883, p. 146.

particulières dans lesquelles ces images ont été produits échappent souvent à l'analyse.

Les négatifs défectueux peuvent être améliorés par la méthode des contre-types. On reproduit *à la chambre noire* un positif d'après le négatif défectueux; le positif ainsi obtenu est toujours supérieur à celui qu'aurait donné une impression par contact, pourvu que l'éclairage soit convenable; ce positif sert à reproduire à la chambre noire un nouveau négatif. Par l'emploi d'un éclairage ménagé et d'un développement approprié à la nature de l'image que l'on veut obtenir, l'on produit des négatifs très acceptables, lors même que les phototypes primitifs sont défectueux. Cette méthode judicieusement appliquée peut rendre de grands services, car il est presque toujours impossible de refaire le négatif d'un sujet en mouvement.

BIBLIOGRAPHIE.

Agle. *Manuel pratique de photographie instantanée.*

Baume-Pluvinel (De La). *Le développement de l'image latente.*

Éder (Dr J.-M.). *Ausführliches Handbuch der Photographie*, tt. I et III.

— *La Photographie instantanée.*

Londe (A.). *Traité pratique du développement.*

— *La Photographie instantanée.*

LIVRE XXVI

DU STÉRÉOSCOPE

CHAPITRE PREMIER

§ 1. — MATÉRIEL.

866. Historique. — L'action simultanée des deux yeux est un des éléments les plus importants du jugement du relief des corps rapprochés. C'est Wheatstone qui a nettement démontré ce rôle de la double vision [1]. Avant lui, Euclide, Galien, Léonard de Vinci, Jean-Baptiste Porta, Gassendi, Smith avaient attribué la vision en relief à la simultanéité d'impression de deux images dissemblables du même objet obtenues par chaque œil.

Wheatstone démontra que quand on regarde un même corps peu éloigné successivement avec chaque œil, on aperçoit l'ensemble sous deux aspects différents : avec l'un des yeux, les positions relatives des lignes ne sont pas les mêmes qu'avec l'autre; on voit du côté de cet œil certaines parties du corps qu'on ne voit pas avec l'autre, les deux yeux n'étant pas situés de la même manière par rapport au corps. Quand on regarde avec les deux yeux l'objet en relief, les deux images faites sur les rétines ne sont pas identiques et l'on peut y distinguer trois parties : une partie commune, vue en même temps par les deux yeux et dont les sensations se confondent; les deux autres, vues par un œil seulement et qui s'ajoutent dans l'image à droite et à gauche de la partie commune. De la combinaison de ces diverses sensations résulte le sentiment des trois dimensions et du relief des corps. Les deux yeux embrassent donc la surface des objets de manière à en distinguer non seulement la partie antérieure, mais encore une portion des parties latérales ou antérieures, ce qui ne peut avoir lieu sur une photographie; par suite, les objets représentés sur le premier plan ne produiront jamais une illusion complète, surtout si on les examine à la distance de la vision distincte; c'est là un défaut de la photographie.

1. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. II, p. 330.

Pour faire voir en relief des dessins représentant des objets à trois dimensions, Wheatstone a montré qu'il fallait préparer deux dessins de l'objet, l'un le représentant tel qu'on le voit avec l'œil droit, l'autre tel qu'on le voit avec l'œil gauche, et l'on fait en sorte que celui de droite étant vu par l'œil droit seulement et celui de gauche par l'œil gauche, les deux dessins paraissent superposés comme le paraîtraient dans la sensation les deux images de l'objet réel qu'ils représentent. Wheatstone est arrivé à ce résultat à l'aide d'un stéréoscope de réflexion. Cet appareil se compose de deux tablettes verticales, parallèles, entre lesquelles sont disposés deux miroirs plans formant un angle de 90°. Un écran présentant des échancrures pour les yeux et pour le nez cache l'arête d'intersection des deux miroirs, les rayons lumineux partant des dessins vont faire leur image virtuelle dans les miroirs; on fait en sorte que ces images se superposent en faisant glisser convenablement sur elles-mêmes les tablettes. L'abbé Moigno a fait observer que la réflexion produite par les miroirs renverse la position des images, et que pour obtenir l'effet du relief il est nécessaire de placer à droite l'image vue de l'œil gauche et à gauche l'image vue de l'œil droit.

Brewster imagina en 1850 le stéréoscope à réfraction composé de deux prismes, ou mieux de deux moitiés d'une lentille biconvexe : il plaçait la moitié gauche devant l'œil droit et la moitié droite devant l'œil gauche, il regardait les deux dessins à travers ce système de lentilles; mais cette observation provoquait une forte fatigue de l'œil. Claudet, Hermagis, de la Blanchère, etc., ont perfectionné le stéréoscope, instrument qui est devenu populaire grâce à l'emploi de la photographie; en effet, avec cet auxiliaire on peut obtenir très facilement deux images du même sujet et ces images peuvent être produites en prenant deux points de vue différents correspondant plus ou moins à l'écartement des deux yeux; lorsque l'on a obtenu de telles images, rien de plus simple que de les disposer de telle manière qu'examinées dans les stéréoscopes elles se superposent sans effort quand on les regarde. La photographie stéréoscopique s'effectue donc à l'aide d'appareils spéciaux et les images positives obtenues à l'aide des phototypes doivent être convenablement montées.

867. Chambres stéréoscopiques. — Les chambres stéréoscopiques diffèrent des chambres noires ordinaires en ce qu'elles possèdent à l'intérieur une cloison (mobile ou fixe) qui les sépare verticalement en deux parties égales. Deux objectifs absolument identiques, fixés sur la planchette antérieure, donnent sur la glace dépolie deux images légèrement différentes; cette différence provient précisément de l'écart des objectifs qui varie en général de 0^m075 à 0^m09 si la chambre noire est construite pour des plaques de $0^m13 \times 0^m18$. Pour celles qui mesurent $0^m15 \times 0^m21$, on peut donner un écartement maximum de 0^m12; cet écartement est d'ailleurs variable avec la distance du sujet à la chambre noire : pour un sujet rapproché, tel qu'un portrait, cet écart doit être faible. On admet que dans un triangle

ayant pour base la distance des centres de deux objectifs et pour sommet le sujet principal, l'angle au sommet doit être de 2°. En pratique, pour les objets éloignés de 6 à 7 mètres, cette règle n'est pas suivie et l'on se contente de l'écartement qui résulte de l'emploi d'un format déterminé de glace. Le plus souvent ce format est celui de $0^m15 \times 0^m21$; cependant, on trouve dans le commerce des plaques toutes préparées pour le format $0^m09 \times 0^m18$, qui est très suffisant pour les épreuves stéréoscopiques.

L'emploi de deux objectifs montés sur la même planchette est indispensable pour la production des épreuves instantanées ; dans ce cas, les objectifs sont munis d'obturateurs fonctionnant simultanément. Presque tous les constructeurs ont imaginé des dispositifs permettant d'atteindre ce but. Dans les obturateurs dits *à guillotine*, les ouvertures donnant passage à la lumière sont percées dans la même lamelle. Un système très pratique et permettant un écartement

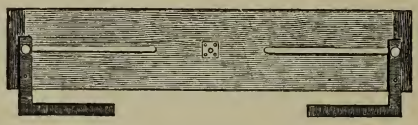


Fig. 638.

variable des objectifs a été construit par Dessoudeix : il consiste à réunir les deux manettes des obturateurs métalliques **(94)** par une tige articulée; les deux disques obturants sont solidaires l'un de l'autre; ils partent en même temps et les deux épreuves sont faites au même moment, ce qui est une condition indispensable pour obtenir le relief résultant de la superposition des deux images.

Pour les épreuves ne contenant pas de sujets animés, on pourra se servir d'une chambre noire à multiplicateur; par exemple, une chambre noire du format $0^m09 \times 0^m12$ munie d'un châssis pour glaces $0^m09 \times 0^m18$ sur laquelle on fera successivement chacune des vues; s'il est utile d'avoir un écartement considérable, on se servira d'une planchette (*fig. 638*) d'environ 0^m80 de long, munie de deux équerres permettant de régler les positions de la chambre sur la planchette. Avec cet appareil, on prend les deux vues en recevant l'image de droite sur la partie gauche de la glace sensible et réciproquement; en employant ce moyen, il ne sera pas nécessaire de couper les glaces pour transposer les vues. Nous avons indiqué **(112)** d'autres dispositifs imaginés dans le même but.

La planchette stéréoscopique permet d'obtenir des reliefs très accentués. Pour une vue de monument placé à environ 150 mètres, il faut donner aux positions de la chambre noire un écartement de 0m30 à 0m35 ; pour un paysage dont les plans importants seraient à 200 ou 300 mètres, on donnera un écartement d'environ 0m60 à 0m65. En pratique, il vaut mieux donner un écartement plutôt trop petit que trop grand ; il n'y a d'exception que pour les vues panoramiques. Pour exagérer la sensation du relief, il est bon que les chambres noires soient assez écartées sans cependant atteindre la distance

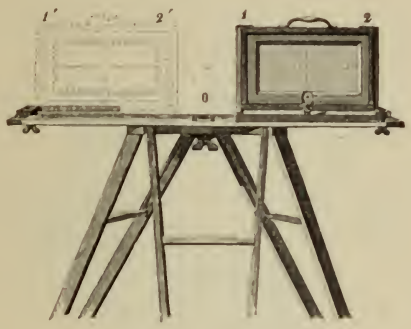


Fig. 639.

théorique : c'est ainsi que dans un panorama stéréoscopique pris du sommet d'une montagne il est bon que les positions des chambres noires soient distantes de 2 à 3 mètres.

On peut se servir de la planchette stéréoscopique avec une chambre noire à deux objectifs s'il s'agit de reproduire des objets qui ne sont pas en mouvement. Lorsque le sujet est rapproché de la chambre noire, on fixe celle-ci au centre O de la planchette (*fig. 639*) et on prend les deux vues en même temps avec les deux objectifs. Si la distance est plus considérable, on pousse la chambre contre une des équerres, celle de droite par exemple, et on prend une première vue avec l'objectif correspondant à 1, puis replaçant la chambre contre l'équerre gauche, on opère pour la seconde avec l'objectif correspondant à 2'. Si les objets qui doivent être en premier plan sont très éloignés, on procède de même ; seulement, au lieu de prendre les vues avec les objectifs qui se trouvent du côté du point O, on opère avec ceux qui correspondent sur la figure à 1' et 2 ; en ne forçant pas l'écartement, les plans éloignés restent tout à fait plats, comme

une toile de fond. L'inconvénient de ce procédé est d'avoir des épreuves qu'il faut transposer, tandis qu'on peut se dispenser de cette opération si l'on s'est servi d'une chambre noire à un seul objectif et que la grandeur de la plaque corresponde au format des épreuves stéréoscopiques[1].

868. Objectifs. — Les objectifs à employer doivent être à foyer assez court, car l'épreuve stéréoscopique terminée possède le format de $0^m075 \times 0^m07$; par suite, si l'on désire une vue dont le plus grand côté sous-tende un angle de 60°, il faut employer des objectifs dont le

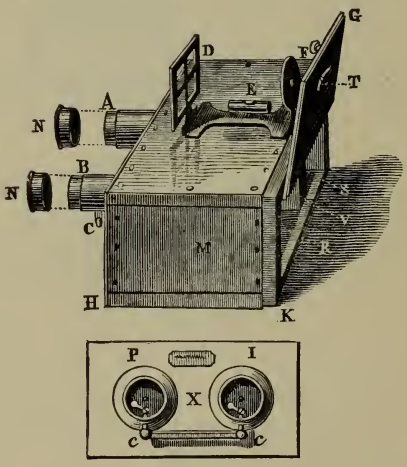


Fig. 640.

foyer soit inférieur à 0^m075. Dallmeyer a établi dans ce but deux séries de rectilinéaires grand angle, l'un ayant 0^m060, l'autre 0^m075 de distance focale. Il existe des objectifs de foyer encore plus courts, mais leur usage est assez restreint si ce n'est dans le cas de monuments très rapprochés. Fleury-Hermagis a construit des objectifs ayant environ 0^m045 de foyer et couvrant la dimension du stéréoscope.

Il n'est pas utile en pratique d'employer des objectifs ayant un champ angulaire aussi étendu; il suffit le plus souvent de deux rectilinéaires d'environ 0^m11 de foyer et de deux lentilles simples

1. Barreswil et Davanne, *Chimie photographique*, 4e édit., p. 371.

rapides de 0m15. Les objectifs à grand angle ne sont guère employés que pour les photographies d'intérieurs ou de monuments pour lesquels la mise en place de l'appareil ne peut se faire qu'à une distance très rapprochée du sujet.

§ 2. — Procédés opératoires.

Bertsch a construit une chambre noire automatique destinée à produire des négatifs pour images stéréoscopiques. Les objectifs de cette chambre noire ont leur centre à l'écartement moyen des deux pupilles; ces deux objectifs X (*fig. 640*) peuvent être ouverts ou fermés simultanément au moyen de la bielle CC. La chambre est munie d'une alidade D et d'un niveau à bulle d'air E servant à l'orienter; le châssis RS est fixé à la chambre et se ferme au moyen du couvercle TG ; il est disposé pour recevoir une glace préparée au collodion humide.

869. Production du phototype négatif. — Tous les procédés photographiques employés pour produire des négatifs peuvent servir à obtenir les phototypes destinés au stéréoscope.

Les négatifs d'objets en mouvement s'obtiennent sur plaques préparées au gélatino-bromure. L'emploi des pellicules comme support de la couche sensible est fort utile. Les vues de monuments, paysages, etc., peuvent être faites sur plaques préparées au collodion sec ou au collodion albuminé : on obtient ainsi une finesse plus grande que par l'emploi du gélatino-bromure. L'image positive étant agrandie dans le stéréoscope, il y a tout intérêt à employer le procédé qui donnera l'image la plus fine. Quel que soit le moyen mis en œuvre, les manipulations sont identiques à celles que l'on fait pour obtenir une épreuve simple.

870. Impressions des positives sur papier. — Les épreuves positives sur papier peuvent s'obtenir à l'aide de l'un quelconque des procédés connus ; on opère comme avec tout autre négatif.

Le coupage et le collage sur bristol doit être fait avec certaines précautions. On coupera les images de telle sorte qu'il n'y ait pas plus de 0m070 à 0m075 entre les deux points semblables de chaque vue. Les calibres destinés à couper les épreuves stéréoscopiques ont

généralement $0^m07 \times 0^m075$. Afin d'opérer rapidement ce coupage, on marque sur le phototype négatif les dimensions du calibre ; ces marques s'impriment alors sur l'image positive et la mise en place du calibre s'effectue sans tâtonnements.

Le collage doit être fait avec grand soin et en observant certaines précautions. Il faut *transposer* les épreuves si l'on imprime directement d'après un négatif fait à la chambre binoculaire sans transposition, c'est-à-dire si l'on s'est servi de la chambre comme d'une chambre noire ordinaire ; il faut coller à droite sur le bristol la vue prise à gauche et réciproquement, sans cela on obtiendrait un effet pseudoscopique, c'est-à-dire que les premiers plans seraient reportés en arrière et les derniers plans seraient ramenés en avant. Lorsque l'épreuve positive est sèche, il suffit de l'examiner par l'envers et d'inscrire 1 sur l'épreuve qui dans cette position est à gauche et 2 sur celle qui est à droite de l'observateur ; après le découpage, on collera l'épreuve 1 sur la partie gauche du bristol qui sert de support à l'image et l'épreuve 2 sur la partie droite ; le travail se fait ainsi mécaniquement et sans difficulté.

On peut encore simplifier l'opération en disposant les négatifs de manière à obtenir les épreuves positives à distance convenable et dans le sens voulu. Pour cela, on place le négatif face en dessous sur une bande de buvard, et, à l'aide d'un bon diamant à couper le verre, on coupe chaque moitié à la dimension exacte que doit présenter chaque image. En faisant cette opération, il faut avoir soin de couper de telle sorte qu'en superposant les deux moitiés du négatif les points semblables puissent se correspondre, de manière que si les négatifs coupés présentent les dimensions de $0^m07 \times 0^m075$, en rapprochant l'un de l'autre chacun des négatifs les points semblables se trouvent à environ 0^m07. On transpose les négatifs, mettant à droite celui qui était à gauche, on les colle sur la glace du châssis positif avec des bandes de papier d'étain ou de papier noir ; pour cette opération, on se sert de colle faite avec de la farine de seigle ; on délimite ainsi les marges de l'épreuve, il n'y a plus qu'à la couper avec un grand calibre et la monter sur bristol.

871. Impression des positives sur verre. — Le négatif doit être préparé comme nous venons de l'indiquer s'il est destiné au tirage des positives sur verre ; dans ce cas, il doit être fait sur glace afin que le contact entre la surface sensible et le négatif soit aussi

complet que possible ; mais quelque soin que l'on prenne, il y a toujours perte de finesse dans cette opération.

Les procédés d'impression sont semblables à ceux que nous avons indiqués en traitant des épreuves pour projection (**856**). On donnera la préférence soit au procédé sur albumine, soit au procédé Taupenot ; les images développées et fixées seront virées à l'aide d'un bain d'or très faible.

Pour conserver toute la finesse que possède le négatif, il faut opérer en reproduisant l'image par transparence. Bertsch a construit pour cet objet un appareil qui, légèrement modifié, permet d'opérer avec régularité. L'appareil de Bertsch, appelé chambre automatique posi-

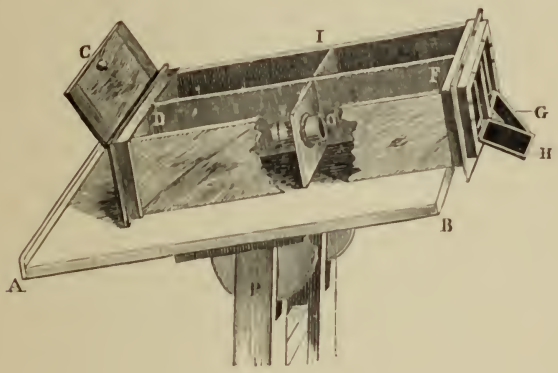


Fig. 611.

tive pour stéréoscope (*fig. 611*), est destiné à obtenir des positives agrandies et redressées. L'instrument est constitué par une boîte oblongue que l'on place à 45° sur la planche AB d'un pied d'atelier ; cette boîte, divisée sur toute sa longueur par une cloison DF, porte à sa partie moyenne deux objectifs O ; on place dans le châssis GH le négatif à reproduire et dans le châssis C un verre préparé à l'albumine ou au collodion. En ouvrant les volets GH ensemble et exposant pendant quelques secondes à la lumière diffuse l'impression s'effectue sur la plaque préparée ; on développe par les procédés usuels.

On peut faire établir cet appareil de manière à rendre mobile suivant l'axe la planchette qui porte les objectifs pour faire varier la distance qui la sépare de la couche sensible : par ce moyen, on pourra soit amplifier, soit diminuer la dimension de l'épreuve originale. On pourra même opérer plus simplement en se servant d'un objectif rec-

tilinéaire d'environ 0m20 à 0m25 de foyer et d'une chambre noire ordinaire ; il suffit, en effet, de reproduire à l'aide de cet instrument le négatif stéréoscopique convenablement encadré de noir et disposé de telle sorte que la lumière qui le traverse puisse seule impressionner la plaque sensible placée dans la chambre noire : l'image ainsi obtenue possède une très grande finesse.

Ces positives s'obtiennent sur des verres minces que l'on trouve dans le commerce; ils sont spécialement préparés pour cet objet et sont coupés à la dimension convenable.

Les épreuves terminées sont montées de manière à protéger la surface de l'image; le plus souvent, on place l'image entre deux verres minces : l'un, finement dépoli, sert à faire un fond de lumière diffuse; l'autre, sert à protéger l'image. On réunit donc ces trois verres en interposant entre eux un cadre de papier noir découpé qui délimite la dimension de l'image en l'encadrant; le tout est maintenu en place par une bordure étroite de papier noir; souvent même on se contente de mettre le côté portant l'image en contact avec le côté dépoli du verre : on évite ainsi les taches qui se produisent très facilement sur le verre dépoli.

On a remplacé le verre dépoli par le verre opale. Dans ce cas, on peut mettre l'épreuve directement en contact avec le verre opale sans que l'aspect de l'image soit modifié, comme cela arrive avec le verre dépoli. On a proposé aussi de mélanger à du collodion normal[1] du carbonate de plomb, du sulfate de baryte, etc.; on étend cette solution sur la couche portant l'image et on obtient ainsi une surface translucide supérieure à celle que donne le verre dépoli.

Le procédé d'impression par le collodio-chlorure d'argent étendu sur papier gommé permet d'obtenir facilement des épreuves d'une grande finesse; on reporte ensuite l'image soit sur verre opale, soit sur verre dépoli.

872. Retouche. — Les retouches s'effectuent sur les épreuves stéréoscopiques exactement comme dans les autres procédés. S'il s'agit de faire un ciel de nuages sur l'épreuve, l'opération est assez délicate : elle nécessite l'emploi de négatifs faits avec les mêmes objectifs que ceux qui ont servi à obtenir la vue stéréoscopique; il faut de plus repérer avec précision la position des images pour

1. *British Journal of Phot.*, août 1873.

obtenir un écartement des deux images identique à celui des vues stéréoscopiques.

Si l'on ne possède pas un négatif stéréoscopique représentant des nuages, on pourra, à l'aide d'un seul phototype de nuages, compléter une image stéréoscopique ; il suffit d'opérer de la manière suivante[1] : quand le papier est suffisamment imprimé sous le négatif, au sortir du châssis-presse, on trace une ligne droite parallèle à une ligne horizontale formée par deux points correspondants dans l'image ; on mesure avec un compas la distance entre deux points éloignés si le négatif a été fait en deux poses successives transposées, on mesure la distance entre les points les plus rapprochés si la vue a été prise avec un binoculaire ; on reporte cette distance sur la ligne droite, chaque pointe du compas correspondant à une image ; on enfonce les pointes pour obtenir deux trous ; on déplace le compas sans en changer l'ouverture, et on pique deux nouveaux trous à quelques centimètres des premiers et toujours sur la même ligne, ils servent de repère ; on découpe une sorte de V sur le bord supérieur de l'épreuve, la pointe de ce V correspondant exactement au trou percé par le compas ; on plie l'épreuve en deux de telle sorte que chacune des images se trouve placée extérieurement ; sur le bord du négatif de nuages, on place à cheval une bande de papier blanc qui se trouve ainsi suffisamment maintenue et l'on place le tout dans le châssis. Le côté à imprimer de l'épreuve est appliqué sur le négatif, de telle sorte que la partie supérieure, celle qui porte les V de repère dépasse un peu sur le papier blanc ; il est donc facile d'y tracer ces derniers avec un crayon. La première partie de l'épreuve étant terminée, on la retourne pour imprimer la seconde, en ayant soin de faire coïncider les V de repère qu'elle porte avec la trace de ceux de la première image.

873. Procédés divers ; examen des images. — Le montage des épreuves stéréoscopiques sur papier ou sur verre s'effectue soit sur des bristols, soit sur des verres coupés à la dimension convenable et que l'on trouve dans le commerce. Le format des uns et des autres est de $0^m085 \times 170$. Les stéréoscopes destinés à examiner les images sont construits pour recevoir des épreuves de ce format.

On a essayé de construire des instruments permettant d'examiner des épreuves stéréoscopiques de grand format, ayant jusqu'à $0^m20 \times 0^m30$, soit une double épreuve de $0^m30 \times 0^m40$; mais l'examen d'épreuves d'une aussi

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1869, p. 115.

grande dimension est très fatigant pour la vue. Le manque d'objectif à grand angle pour stéréoscope a pendant longtemps été cause que l'on s'est servi de plaques de grand format sur lequel on obtenait deux épreuves ; on les réduisait ensuite au type convenable pour le stéréoscope : ce mode opératoire était utile pour reproduire des monuments rapprochés.

Les stéréoscopes que l'on trouve dans le commerce ont des dimensions fixes, permettant de recevoir des images accouplées montées sur carton de 0^m17 de long sur 0^m085 de large. Le changement des épreuves s'effectue soit à la main, soit en tournant les boutons qui commandent une sorte de chaîne sans fin à laquelle sont fixés de petits cadres métalliques renfermant les épreuves. Cette chaîne peut amener successivement chaque image au sommet d'une sorte de boîte ou de colonne qui sert à contenir toute la série ; à la partie supérieure de cette colonne se trouvent les deux lentilles stéréoscopiques qui permettent de faire coïncider les deux images. Ce genre de stéréoscope est connu sous le nom de stéréoscope américain.

L. Cazes[1] a cherché quelles sont les conditions à remplir pour que deux épreuves photographiques d'un objet rapproché A donnent, par leur vision simultanée au stéréoscope, la même sensation que celle que produirait un objet réel A′ semblable au premier, mais de dimensions différentes et placé à la distance de la vision distincte (0^m30 environ). Il faut, pour qu'au stéréoscope les projections puissent remplacer l'objet A′, que celui-ci ait une profondeur maximum telle que l'œil étant accommodé pour le point le plus proche, voie encore nettement le plus éloigné. Cette profondeur est 0^m034 environ pour une vision normale de 0^m30. En désignant par v la distance du plan perpendiculaire à la bissectrice de l'angle visuel, plan sur lequel se trouvent les deux perspectives de l'objet, la profondeur est $\frac{v}{10}$. Pour obtenir deux épreuves de l'objet identiques aux deux perspectives de A′, il faut que les chambres noires fassent, avec un point de l'objet A, un angle égal à l'angle visuel lorsqu'on regarde un point à la distance v, soit 12 à 15° ; désignons par f la distance du point nodal d'émergence à l'image de l'objet A fourni dans la chambre noire, d la profondeur de l'objet A, admettons que l'on veuille obtenir des images dont la dimension soit à celle de l'objet comme $\frac{v}{10}$ est à d : on doit avoir $D = \frac{10}{v} fd$. Cette valeur de D est un minimum; il n'y a d'autre maximum que celui qui résulterait de l'exiguïté des images obtenues.

On a proposé de remplacer le stéréoscope par des lorgnettes d'opéra à foyer assez court. Czugafewiecz[2], Lebrun[3] ont imaginé des stéréoscopes panoramiques. Rolmann[4], en 1853, a imaginé d'employer deux images colorées superposées et deux verres colorés pour les examiner[5]. D'Almeida a montré[6] le parti que l'on pouvait tirer de ce moyen pour montrer à un

1. *Journal de physique de d'Almeida*, 1885, p. 314.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1860, p. 97.
3. *Ibid.*, 1864, p. 200.
4. *Ibid.*, 1858, p. 262.
5. *Poggend. Annalen*, XC, p. 187.
6. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 12 juillet 1858.

grand nombre de spectateurs des images stéréoscopiques. Il place deux images stéréoscopiques dans deux appareils de projection et dispose sur le trajet des rayons lumineux deux verres colorés de couleur qui n'aient aucun élément ou presque aucun élément de couleur simple du spectre : l'un est un verre rouge, l'autre un verre vert. Au moyen de ces verres colorés, l'une des images projetées sur l'écran est rendue verte, l'autre rouge. Si, dès lors, on place devant les yeux des verres pareils aux précédents, l'image verte se montre seule à l'œil qui est recouvert du verre vert, l'autre à celui qui regarde à travers le verre rouge : aussitôt le relief apparaît. Un autre moyen proposé par d'Almeida consiste à employer des images incolores, mais à faire percevoir à chacun des deux yeux celle qui lui convient, en rendant intermittente la production de chacune d'elles et en interdisant la vue de l'écran, tantôt à l'un, tantôt à l'autre œil au moment où se produit l'image qu'il ne doit pas voir. Dans ce but, la lumière qui va éclairer une épreuve stéréoscopique est préalablement concentrée au foyer par une lentille convergente; il en est de même pour l'autre. Devant les deux foyers, on place un carton qui peut tourner autour d'un axe horizontal. Ce carton est percé sur une même circonférence de trous qui, passant devant chaque foyer, permettent à la lumière d'éclairer alternativement les deux épreuves. Tandis que cette roue tourne, les yeux regardent à travers les ouvertures qui s'ouvrent et se ferment tour à tour. L'œil droit ne peut voir qu'au moment où la perspective de droite apparaît; l'œil gauche, fermé alors, devient libre ensuite au moment où se montre la perspective de gauche.

L'emploi des verres colorés a été de nouveau indiqué par le Dr Schobbens [1], qui a vérifié le fait signalé par d'Almeida [2], à savoir que si l'on se déplace latéralement il semble que l'on voit tous les changements qu'on apercevrait si l'on était devant les objets réellement en relief; les objets du premier plan semblent marcher en sens inverse du mouvement du spectateur, ce qui ajoute à l'illusion.

Shaw [3] a appliqué le stéréoscope au phénakisticope : il exécute une série d'épreuves de telle façon qu'elles présentent une suite d'images offrant les conditions stéréoscopiques. Avant de prendre chaque paire d'épreuves, on fait exécuter au sujet une portion du mouvement qu'il doit représenter, de telle sorte que la première paire représente le commencement de ce mouvement et que la dernière en représente la fin. Après avoir obtenu ces épreuves, on les dispose dans un stéréoscope en arrangeant un mécanisme tel que les paires successives changent rapidement, chacune d'elles se présentant successivement aux yeux; en les regardant ainsi, elles produisent en même temps l'effet de relief et celui du mouvement. Claudet avait, antérieurement à Shaw, conseillé une combinaison semblable, et sir J. Herschell avait prévu la construction d'un tel système optique. Marey, Anschütz ont appliqué un instrument de ce genre à l'examen de leurs remarquables épreuves instantanées.

Claudet a fait connaître, sous le nom de *stéréomonoscope*, un instrument

1. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1890, p. 433.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1858, p. 261.
3. *Phot. News*, 11 janvier 1861.
4. *Société royale de Londres*, 15 mars 1858.

dont le principe est fondé sur la découverte de la propriété inhérente au verre dépoli de présenter en relief l'image de la chambre noire. L'appareil consiste en une chambre noire ordinaire à laquelle on adapte deux objectifs achromatiques. La chambre noire est assez longue pour permettre d'agrandir l'image; les deux objectifs sont fixés chacun sur un cadre glissant horizontalement au moyen d'une coulisse, ce qui permet de leur donner l'écartement nécessaire pour que deux images stéréoscopiques placées devant la chambre noire puissent chacune se réfracter sur le centre de la glace dépolie. Les deux images stéréoscopiques sont montées séparément et peuvent, en glissant chacune dans une coulisse, venir se placer devant un des objectifs dans la position exigée par l'écartement des objectifs. Au moyen de vis de rappel adaptées aux cadres portant les objectifs et à ceux portant les images, on peut graduellement et avec la plus grande précision les approcher ou les éloigner pour amener les deux images à se confondre sensiblement sur la glace dépolie qui doit être placée dans l'obscurité.

BIBLIOGRAPHIE.

Barreswil et Davanne. *Chimie photographique.*

Blanchère (De La). *Monographie du stéréoscope.*

— *Répertoire encyclopédique de photographie.*

Claudet. *De quelques découvertes récentes dans la photographie, la photosculpture et la stéréoscopie.*

Giraud-Teulon. *Principes de mécanique animale.*

Kreutzer. *Jahresbericht über die Fortschritte und Leistungen im Gebiete der Photographie und Stereoskopie.*

— *Das Stereoskop.*

Liébert. *La Photographie en Amérique.*

Robiquet. *Manuel théorique et pratique de photographie.*

LIVRE XXVII

PPLICATIONS SCIENTIFIQUES

CHAPITRE PREMIER

MICROPHOTOGRAPHIE.

§ 1. MATÉRIEL DE MICROPHOTOGRAPHIE.

874. Du microscope. — On a divisé les microscopes en microscopes *simples* (ou *loupes*) et *microscopes composés*. En microphotographie on se sert de ces deux sortes d'appareils; les loupes sont souvent remplacées par des objectifs photographiques. Le microscope composé est formé d'une partie *mécanique* (pied, support, *stand, stativ*) servant à centrer la partie *optique* (objectif, oculaire et appareils d'éclairage).

875. Partie mécanique. — Les modèles de pied de microscopes sont extrêmement nombreux et les constructeurs perfectionnent continuellement cet appareil; presque tous les instruments établis pour l'observation directe peuvent être employés en microphotographie. Dans ces dernières années, depuis que l'emploi des plaques au gélatino-bromure a rendu plus facile les applications photographiques, les fabricants ont établi des modèles spéciaux répondant aux divers besoins de la microphotographie. Tous les grands modèles des bons constructeurs peuvent être employés avec succès pour la photographie; nous citerons parmi ces appareils : en France, les grands modèles de Bézu et Hauser, Nachet, Vérick; en Allemagne, ceux de Benèche, Hartnack, Leitz, H. et W. Seibert, Schmidt et Hœnsch, Zeiss; en Autriche, Ploessl, Reichert; en Angleterre, R. et J. Beck (nous nous servons du modèle « The International » de ces constructeurs), Crouch, Collins, Dallmeyer, Powel et Lealand (leur grand microscope à lourd trépied est

d'une stabilité merveilleuse), Ross (dont le modèle « Radial arm » est très recommandable), Swift, Watson et fils. En Amérique, on peut citer les modèles de Bausch et Lomb; Bulloch, de Chicago; Gundlach, de Rochester, et surtout ceux de Zentmayer, de Philadelphie. Le plus célèbre constructeur américain, Tolles, de Boston, est mort depuis plusieurs années et avait établi de très remarquables modèles de support aussi pratiques pour l'observation directe que pour la photographie.

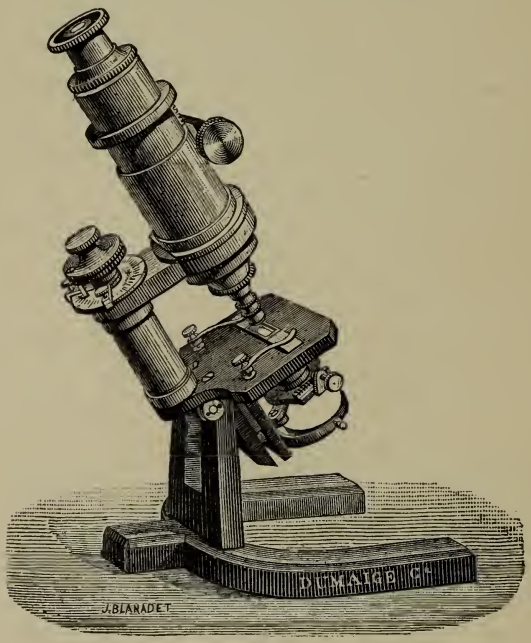


Fig. 642.

Les supports construits par les artistes que nous venons de citer peuvent être employés pour obtenir des images micrographiques; la description de ces appareils se trouve dans tous les bons ouvrages sur le microscope [1].

Plusieurs constructeurs, parmi lesquels nous citerons Dumaige en France, Zeiss en Allemagne, etc., construisent spécialement des supports pour microphotographie. Le modèle de M. Dumaige est surtout destiné aux photographies des préparations ordinaires d'anatomie microscopique. La base de ce support est de fonte et présente la forme de fer à cheval (*fig. 642*). Sur cette base, la *platine* (ou table

1. Dippel, *Das Mikroskop und seine Anwendung*, 1882.

sur laquelle se place la préparation) est fixée entre deux montants ; une colonne qui s'élève verticalement au-dessus de la platine sert à fixer le tube portant l'*oculaire* à son extrémité supérieure, l'*objectif* à la partie inférieure ; sous la platine se trouve l'appareil d'éclairage et le miroir.

Le tube est d'un large diamètre à sa partie inférieure afin d'utiliser tout le champ de l'objectif. Il est mobile suivant son axe à l'aide d'une crémaillère (mouvement rapide) ; une *vis micrométrique* appliquée au sommet de la colonne agit sur une pièce prismatique portant le tube et fixée à la colonne ; un ressort à boudin caché dans celle-ci et agissant de bas en haut oblige le prisme et par suite le tube à s'élever ou s'abaisser avec la vis : c'est le *mouvement lent* qui permet une mise au point très précise. La tête de la vis micromè-

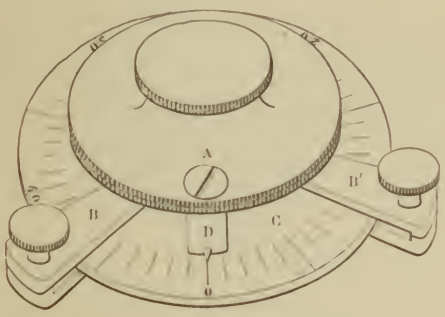


Fig. 643.

trique se meut devant un disque gradué (*fig. 643*) : deux pinces mobiles B et B′ permettent de fixer cette vis lorsque la mise au point est terminée. La platine sur laquelle est maintenue la préparation à observer est appliquée à angle droit sur la colonne ; elle est percée d'une ouverture circulaire permettant à la lumière d'arriver sur la préparation et de l'éclairer par transparence ; sous la platine sont adaptés les diaphragmes, l'appareil d'éclairage, etc. : l'appareil ne possède pas de *sous-platine* proprement dite. Ce microscope a été construit sur les indications du Dr Vialannes.

Le modèle de C. Zeiss (*fig. 644*) est plus complet : cet instrument est une modification du grand modèle de microscope de ce constructeur. Les dimensions de la platine sont suffisantes pour permettre l'emploi de toutes sortes de porte-objets, y compris les plaques de culture ; l'ouverture de cette platine est assez grande eu égard à

l'étendue du champ des objectifs à longue distance focale pour permettre d'éclairer une image de 0m033 de diamètre; cette ouverture peut, à l'aide d'un diaphragme spécial, être réduite au diamètre de la lentille supérieure du condensateur. Le déplacement de l'objet s'effectue sur la platine à l'aide d'un mécanisme très doux (*mechanical stage* des Anglais); ce dispositif permet de déplacer très lentement l'objet, comme le réclame la projection à grande distance d'une

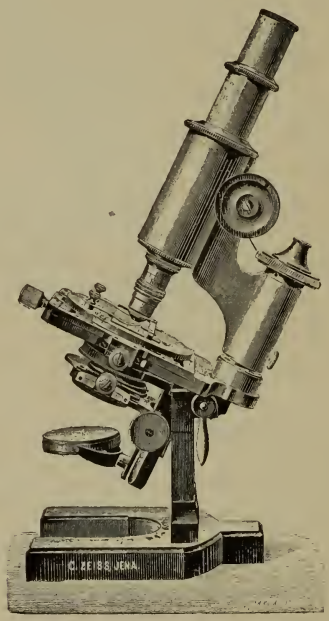


Fig. 644.

image amplifiée. Cette platine mécanique est construite de telle façon que sa présence sur l'appareil n'empêche pas les manipulations, même sur plaques de culture. Le mouvement de rotation du porte-objet s'effectue à l'aide d'une plaque tournante mue par un pignon; les deux mouvements rectilignes sont produits par deux chariots (*fig. 645*) sur lesquels repose la platine tournante portant la préparation; chacun de ces chariots est mis en mouvement par une vis micrométrique. Une double division correspondant à chacun des mouvements rectilignes permet soit de repérer la préparation, soit de faire des mesures à 0m0001 près; par ce moyen, on peut faire rapi-

dement l'examen préliminaire et systématique de la préparation à observer; enfin, lorsqu'on travaille avec des objectifs de fort pouvoir, ce dispositif permet d'amener avec précision au centre du champ un point qui se trouvait sur le bord. Les grands microscopes anglais

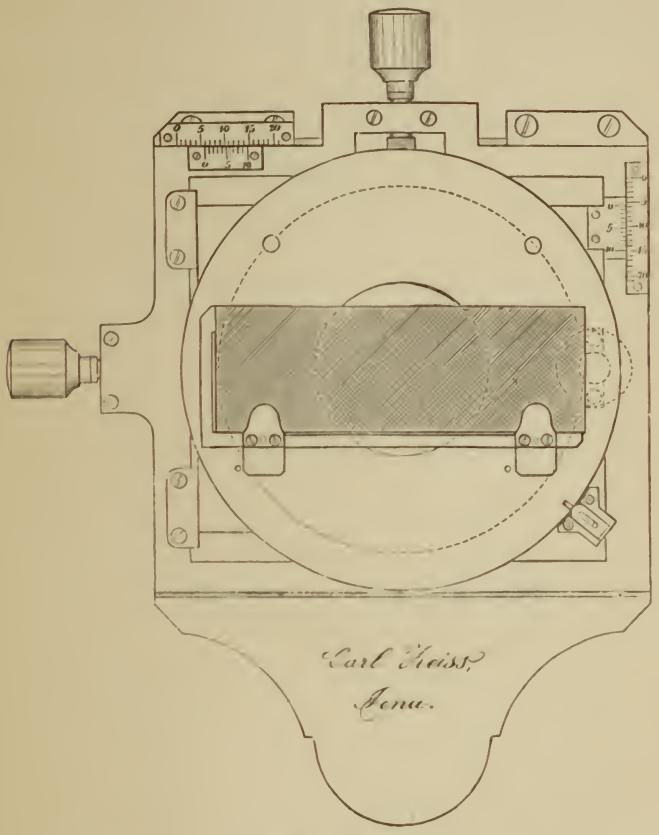


Fig. 645.

sont tous munis de ce dispositif, indispensable pour les travaux délicats.

Le tube auquel se fixent l'oculaire et l'objectif est très large dans le bas et porte un second tube à coulisse. La mise au point rapide se fait par l'emploi d'une crémaillère très précise; la mise au point définitive s'effectue à l'aide d'un mouvement micrométrique de nou-

velle construction[1] donnant au mouvement du tube une régularité parfaite. La division de la tête de vis micrométrique permet d'évaluer les déplacements du tube dans l'axe optique; chaque division correspond à un déplacement du tube de $0^{mm}01$, ce qui permet d'effectuer des mesures d'épaisseur avec une assez grande exactitude. Dans ce but, on met successivement au point sur la face supérieure et sur la face inférieure de l'objet à mesurer et on relève chaque fois la position de l'index en regard de la division. Les deux mises au point doivent être obtenues par une rotation de la vis dans le même sens;

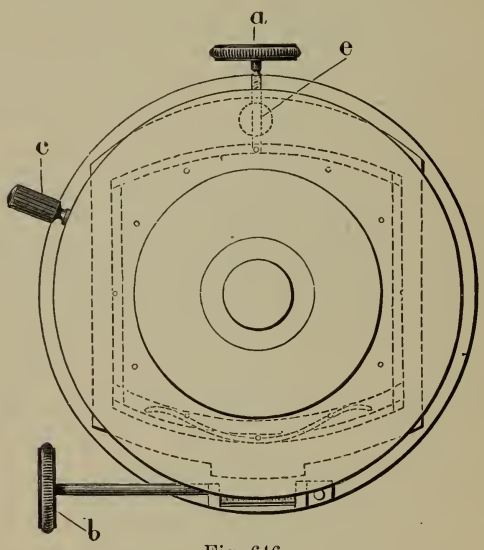


Fig. 646.

cette mesure est utile dans bien des cas, par exemple elle permet de déterminer la dimension du diaphragme à employer pour obtenir une profondeur de foyer convenable.

La sous-platine est munie d'un appareil (*fig. 646*) destiné à centrer les instruments d'éclairage; une vis *a* permet d'effectuer le mouvement d'avant en arrière; une vis sans fin *b* permet de faire tourner le système autour de l'axe *e*; enfin, une tige *c* commande un *iris-diaphragme* pour modifier l'arrivée de la lumière. Cet appareil à centrer peut recevoir soit un condensateur, soit un objectif permettant de projeter la lumière sur la préparation; tout ce dispositif est mobile dans le sens de l'axe de l'appareil à l'aide d'une crémaillère.

1. *Zeitschrift f. Wissen. Mikroskopie*, III, 2, p. 207.

876. Partie optique; les objectifs. — La partie optique de tout microscope se compose des objectifs, des oculaires et des appareils d'éclairage; nous rappellerons brièvement le rôle de chacune des parties de l'appareil.

L'*objectif* de microscope diffère essentiellement de l'objectif photographique: ce dernier est destiné à fournir une image très réduite d'objets de grandes dimensions; l'objectif de microscope, au contraire, doit donner une image amplifiée d'objets le plus souvent très petits; la construction de ces deux sortes d'objectifs est donc toute différente.

On admettait autrefois que le *seul* rôle de l'objectif était de fournir une image amplifiée que l'on examinait à l'aide de l'oculaire faisant fonction de loupe; mais en laissant de côté les phénomènes de diffraction qui interviennent et « en donnant la théorie du microscope telle qu'on la présente actuellement, on enseigne des choses incomplètes et fausses [1] ». Le Dr Abbe a donné une théorie complète de la vision microscopique, théorie extrêmement remarquable, appuyée d'expériences les plus précises, et qui a eu pour résultat d'amener des progrès considérables dans la fabrication des microscopes. Nous ne pouvons exposer ici cette théorie, renvoyant le lecteur soit au mémoire original d'Abbe [2], soit aux excellents traités de Dippel [3] ou de Francotte [4]. Nous nous bornerons à rappeler que le Dr Abbe a montré que pour obtenir une image exacte des plus fins détails de structure d'un objet il fallait admettre le plus grand nombre possible de rayons diffractés; les rayons dioptriques centraux sont incapables de donner seuls des images fidèles des petits objets. Le *grossissement* du microscope qui semblait autrefois le seul point important est devenu aujourd'hui très accessoire; les objectifs *faibles* sont ceux qui admettent un petit nombre de rayons diffractés, les objectifs *puissants* ou d'un *fort pouvoir* sont ceux qui admettent un grand nombre de ces rayons, quel que soit d'ailleurs le grossissement.

Les objectifs sont formés de plusieurs lentilles centrées dans un même tube et associées deux à deux, trois à trois, etc., plusieurs de ces lentilles pouvant ne pas être achromatiques individuellement. C'est Chevalier qui, en 1824, parvint à construire des objectifs dans lesquels, grâce à l'emploi de plusieurs lentilles, l'aberration de réfrangibilité était fortement diminuée; depuis lors on a construit un très grand nombre de combinaisons. La lentille inférieure tournée vers l'objet à examiner s'appelle la lentille *frontale;* celle qui est tournée du côté de l'oculaire est la lentille *émergente.*

L'*ouverture* d'un objectif microscopique est le rapport entre le diamètre du pinceau *émergeant* de l'objectif et la distance focale de cet objectif.

L'*angle d'ouverture* est l'angle formé par les rayons extrêmes émanés de l'objet, et qui concourent à former une image définie dans le microscope.

En désignant par u la moitié de l'angle d'ouverture, par n l'indice de

1. Francotte, *Manuel de technique microscopique*, p. 84.
2. *Arch. Mikr. Anat.*, 1873.
3. *Das Mikroskop und seine Anwendung*, 1882.
4. *Manuel de technique microscopique*, 1886.

réfraction du milieu dans lequel fonctionne la lentille frontale de l'objectif, l'*ouverture numérique a* sera donnée par la formule $a = n \sin u$.

Le *pouvoir résolvant* ou *séparateur* d'un objectif est la propriété en vertu de laquelle il peut rendre visible plus ou moins facilement les éléments les plus fins. Ce pouvoir ne dépend pas du grossissement; tel objectif ayant un *fort pouvoir* résolvant montrera, sous un grossissement de 200 diamètres, de fines structures qu'un objectif *faible* ne montrera pas, bien que grossissant 500 fois par exemple; le pouvoir séparateur est en raison directe de l'ouverture numérique. En désignant par δ la distance entre deux lignes ou deux éléments consécutifs à résoudre, λ la longueur de la radiation considérée, $2a$ le double de l'ouverture numérique, Abbe a démontré que l'on a

$$\delta = \frac{\lambda}{2a},$$

formule qui montre que, pour une même ouverture numérique, le pouvoir résolvant est plus grand dans la lumière violette et dans l'ultra-violet que dans la lumière blanche. Il suit de là qu'en photographie on peut résoudre de fines structures que l'œil est impuissant à découvrir.

Le *pouvoir définissant* d'un objectif est la propriété qu'il possède d'accuser plus ou moins fidèlement les contours des objets. Un objectif est dit *pénétrant* quand il montre à la fois tout ce qui est placé sur plusieurs plans successifs très rapprochés. La pénétration est en raison inverse de l'ouverture numérique. Le pouvoir séparateur exclut donc le pouvoir pénétrant; lors donc qu'on voudra une bonne pénétration il faudra recourir aux objectifs de faible et de moyenne ouverture, ou bien réduire l'ouverture à l'aide d'un diaphragme.

On divise les objectifs en objectifs travaillant *à sec* et objectifs *à immersion*. Les premier sont ceux que l'on emploie lorsque l'objet recouvert d'une lamelle est examiné dans l'air.

L'objectif à immersion est celui dans lequel l'*objet est uni à la lentille frontale* par un corps dont l'indice de réfraction se rapproche de celui du verre. D'après cette définition, si l'on fait travailler ce même objectif sur une préparation *à sec*, l'objectif à immersion fonctionne comme un objectif à sec ayant une distance frontale nulle (distance de la frontale au couvre-objet). Dans l'objectif à immersion, les rayons émanés de l'objet atteignent directement la lentille frontale. S'il n'y a aucune réfraction dans le trajet de ces rayons, l'immersion est dite *homogène;* c'est ce qui a lieu quand le liquide employé a un indice de réfraction voisin de 1,52 qui est à peu près l'indice du verre. Un même objectif peut donc fonctionner de deux manières différentes, et il ne suffit pas qu'il ait sa lentille frontale unie par un liquide à un couvre-objet pour le considérer comme un objectif à immersion.

L'utilité des objectifs à immersion réside en ce qu'ils permettent d'éclairer l'objet sous une incidence aussi rasante que l'on voudra et d'utiliser les pinceaux très obliques par rapport à l'axe. On peut démontrer qu'un objectif à immersion dans l'eau ($n = 1{,}33$) dont l'angle d'ouverture est 97° recueillera tous les rayons qui pourraient être traversés par un objectif à sec de 180°; de même un objectif à immersion homogène ayant un angle d'ouverture de 82° recueillera les mêmes rayons. Ces deux derniers instru-

ments seront d'un maniement plus facile qu'un objectif à sec, car, dès que l'angle d'ouverture atteint ou dépasse 160°, le maniement de l'objectif devient difficile.

Les anciennes matières employées pour la fabrication des objectifs sont le crown (silicate de potasse et de chaux), qui dispersent peu la lumière et la réfractent également peu; les flints anciens (silicates de potasse et de plomb), au contraire, ont un pouvoir dispersif plus élevé, mais aussi ils réfractent plus la lumière. Si la valeur de la dispersion diminue ou augmente dans l'un ou l'autre de ces verres, l'indice de réfraction diminue ou augmente également; ainsi la dispersion grandit ou diminue avec la réfraction. Avec de tels verres, comme l'a déclaré le Dr Abbe, on ne pouvait espérer réaliser de grands progrès dans l'optique microscopique. Il fallait, pour obtenir de meilleurs objectifs, fabriquer du crown et du flint dans lesquels la dispersion dans les différentes régions du spectre montre une proportion constante; de cette façon, il était possible de neutraliser les spectres secondaires, ce qui ne pouvait pas s'obtenir par les anciennes combinaisons optiques; de plus, il fallait trouver de nouvelles espèces de verres dans lesquels l'indice de réfraction et l'indice de dispersion fussent dans des rapports beaucoup plus variés que ceux que l'on possédait, de telle sorte qu'un verre ayant un indice de réfraction élevé eût, non pas comme autrefois une grande dispersion, mais un degré moindre de cette dispersion. C'est ainsi que la nouvelle fabrique de Schott, à Iéna, a produit des verres de faible dispersion, tels que le crown, ayant l'indice de réfraction du flint. Avec les anciens verres, à cause de la grande disproportion de la dispersion des couleurs dans les différentes parties du spectre propre au flint et au crown ordinaires, il n'était pas possible d'obtenir un achromatisme parfait. Dans les meilleurs objectifs, on ne pouvait combiner que deux des différentes couleurs du spectre, il y avait divergence entre les autres couleurs; en d'autres termes, il existait des *spectres secondaires* que l'on ne pouvait parvenir à éteindre. Il restait également, au point de vue de l'aberration sphérique, une sous-correction pour la lumière rouge et une sus-correction pour la lumière bleue. Dans les objectifs *apochromatiques*, les spectres secondaires disparaissent; il n'existe plus que des restes des couleurs des spectres tertiaires. Il n'y a pas d'autres objectifs qui permettent d'atteindre ce résultat. Enfin, l'aberration sphérique se corrige pour toutes les couleurs indistinctement[1].

Ces objectifs calculés par le Dr Abbe[2] sont taillés dans de nouvelles espèces de verres dont les propriétés optiques présentent donc sur celles des verres fabriqués jusqu'à ce jour d'importants avantages. Les nouveaux objectifs se distinguent de ceux employés jusqu'ici pour le microscope par la réalisation simultanée de deux conditions relatives à la réunion des rayons du spectre en un même foyer. La première consiste dans la convergence en un même point

1. Francotte, *Bulletin de la Société belge de microscopie*, 1886, p. 102.
2. *Sitzungsber. der med. naturw. Gesellsch. zu Iena*, juillet 1886.

de l'axe de trois rayons différents du spectre, c'est-à-dire dans la suppression du spectre dit secondaire existant dans les systèmes achromatiques employés jusqu'à aujourd'hui; la seconde condition réside dans la correction de l'aberration de sphéricité pour deux rayons de couleurs différentes, tandis que par l'emploi des anciens verres la correction ne pourrait être atteinte que pour un seul (celui dont la couleur est la plus brillante). Les objectifs *apochromatiques* donnent pour tous les rayons du spectre des images d'une netteté *à peu près* uniforme, soit que l'on observe à la lumière blanche, soit que l'on emploie l'éclairage monochromatique. La correction de l'aberration chromatique pour les rayons obliques à l'axe est à peu près complète et les couleurs des objets sont fidèlement rendues sans traces de contours estompés; l'image est presque aussi nette sur les bords qu'au centre du champ. Ces objectifs possèdent donc de grandes qualités, et les avantages qu'ils présentent sur les instruments ordinaires seront facilement reconnus par tous ceux qui les étudieront d'une manière systématique et *sans se borner à un examen superficiel*. Il ne faut pas oublier que le bon maniement d'un objectif microscopique nécessite une étude assez longue (plusieurs semaines et quelquefois plusieurs mois, comme nous l'avons constaté nous-mêmes en nous servant des objectifs à grande ouverture de Powel et Lealand); ce n'est que par une pratique suivie des objectifs apochromatiques que l'on peut apprécier toutes leurs qualités, tandis qu'on est souvent tenté de les méconnaître lorsqu'on les emploie pour la première fois.

Ces objectifs sont extrêmement précieux pour la microphotographie; mais il est peu d'opticiens qui les construisent. Zeiss a livré les premiers instruments taillés dans les nouveaux verres et a pu donner à certains objectifs une ouverture numérique égale à 1,63, permettant la résolution dans l'éclairage axial de tous les *tests*, y compris les stries transversales de l'*Amphipleura*[1]. Powel et Lealand ont construit des objectifs du même genre, ainsi que Reichert[2], à Vienne, H. et W. Sebert, Leitz, à Wetzlar, et quelques autres. On reconnaît que l'apochromatisme de ces objectifs est convenable en examinant un *test* spécial, les écailles du *Podura*. On constate la présence de stries en forme de points d'exclamation (sans point); ces stries se montrent nettement définies, d'un beau noir et avec une raie lumineuse parfaitement incolore. Les objectifs ordinaires ne permettent pas d'obtenir un tel résultat.

La distance qui sépare les diverses lentilles formant un objectif peut être

1. *Bulletin de la Société belge de microscopie*, 1888, p. 169.
2. *Ibid.*, 1890, p. 156.

fixe ou bien elle peut varier. Dans le premier cas, l'objectif est dit à *monture fixe*, tandis que dans le second l'objectif est dit *à correction*. Lorsqu'on calcule les rayons de courbure et les autres éléments qui constituent un objectif microscopique, on admet que l'image formée par l'objectif sera projetée à une distance déterminée (généralement 0m160, et 0m250 pour les objectifs anglais ou américains). L'objet que l'on choisit et dont l'image sera projetée est ce que l'on appelle un *test*. Il est recouvert d'une lamelle de verre d'une épaisseur donnée et d'un indice de réfraction connue; c'est seulement dans ces conditions que l'objectif donnera une image aussi parfaite que possible. En pratique, il n'en est plus ainsi. Si la longueur du tube est généralement fixe, la lamelle qui protège l'objet présente presque toujours une épaisseur différente de celle qui recouvrait le test ayant servi à établir l'objectif. La déviation produite dans la marche des rayons lumineux par cette lame de verre amène des perturbations dans l'image; les objectifs à correction ont pour objet de remédier à cet inconvénient. On a cru pendant longtemps que la correction n'était utile que pour les objectifs forts; c'est là une erreur. La monture à correction (qui permet de faire varier la distance qui sépare les lentilles) est utile même pour les objectifs faibles; *elle est même d'autant plus utile que l'objectif est plus parfait* [1]. Les bons constructeurs font des montures à corrections pour les objectifs dont la distance focale est équivalente à celle d'une lentille simple de $\frac{1}{2}$ pouce de foyer et d'ouverture numérique 0,50, et pour les dimensions au-dessous. Les objectifs ainsi montés sont particulièrement utiles pour la photomicrographie. Il semble qu'avec les objectifs à immersion homogène il soit inutile d'employer la monture à correction, car le liquide d'immersion ayant le même indice de réfraction que le verre, l'épaisseur de la lamelle ne peut apporter aucune perturbation. Cela est exact pour un objet examiné en lumière centrale, avec une longueur de tube fixe et un liquide d'immersion identique à celui qui a servi pour la vérification de l'objectif. Mais comme l'on emploie souvent la lumière oblique, comme d'autre part il est difficile d'avoir un liquide d'immersion à indice invariable, plusieurs opticiens construisent les objectifs à immersion homogène avec la monture à correction, ou bien ils fournissent un liquide spécial pour l'éclairage en lumière oblique. Les objectifs apochromatiques à immersion homogène ne sont construits qu'à monture fixe; si l'on emploie un couvre-objet dont l'épaisseur s'écarte de la moyenne, on compense cet écart par un faible allongement du tube pour une épaisseur trop faible et par un faible raccourcissement du tube pour une épaisseur trop forte. Le liquide employé pour l'immersion est l'essence de cèdre, que l'on laisse plus ou moins au contact de l'air pour lui permettre d'acquérir plus de consistance.

Les pouvoirs *éclairants* de deux objectifs sont entre eux comme les carrés de leur ouverture numérique.

Les objectifs apochromatiques ne présentent pas de différence sensible entre le foyer pour les rayons visuels et le foyer pour les rayons chimiques; avec les autres, il faut tenir compte de cette différence, à

1. Pelletan, *Études sur les microscopes étrangers*, p. 61

moins que l'objectif ne soit spécialement construit (comme le sont ceux de Wales, de H. et V. Seibert, Nachet, etc.), pour la photographie. On peut constater très simplement l'existence de ce *foyer chimique* en photographiant un objet très net (un micromètre[1], par exemple), légèrement incliné sur la platine de l'instrument; on met au point une division facile à retrouver en employant la lumière solaire, et on fait une épreuve. Si la division marquée manque de netteté, cela doit être attribué à une correction chimique incomplète de l'objectif. Au lieu d'essayer d'établir une table de correction pour l'objectif, il vaut mieux recourir à l'emploi de la lumière monochromatique, qui, avec tous les instruments, même les meilleurs, donne des images plus nettes que si l'on employait la lumière du jour : on supprime ainsi complètement cette cause d'erreur. Comme nous le verrons dans la partie pratique, on emploie soit la lumière jaune, soit la lumière verte.

877. Oculaires. — L'oculaire a pour objet de recueillir les spectres de diffraction formés par l'objectif; il fonctionne à peu près comme une loupe par rapport à l'image donnée par l'objectif. L'oculaire se compose de deux verres : la lentille inférieure est le verre collecteur ou verre de *champ;* la lentille supérieure, celle qui est à l'extérieur du tube, est le verre de *l'œil.* Dans un tel appareil, appelé oculaire d'Huyghens, le verre de champ a pour objet de permettre de voir une grande partie de l'image formée par l'objectif. Kellner de Wetzlar a rendu achromatiques les oculaires destinés au microscope : ils sont désignés sous le nom d'*orthoscopiques;* on s'en est servi quelquefois pour la photomicrographie. Tolles, de Boston, a construit un oculaire appelé *holostérique*[2], constitué par un cylindre de crown-glass dont les deux bases sont formées par des surfaces inégales; une rainure rodée circulairement autour du cylindre est remplie de mastic noir et fait office de diaphragme. L'oculaire *périscopique* de Gundlach est peu employé en microphotographie; il en est de même de l'oculaire *aplanétique* de Plossl.

On se sert surtout aujourd'hui des oculaires *compensateurs* de Zeiss, oculaires qui sont destinés à compenser les défauts que présentent les images fournies par les objectifs : les images des différentes couleurs qui constituent l'image définitive de tout objet sont d'une grandeur différente. On remarque donc dans toute image projetée directement un contour coloré qui augmente à mesure qu'on se rapproche des bords du champ. Les oculaires compensateurs sont construits de telle façon qu'ils jouissent de la propriété contraire au même degré. L'action des objectifs est ainsi compensée par ces oculaires, et l'image apparaît d'une couleur uniforme jusqu'au bord du champ. La monture de ces oculaires est réglée de façon

1. H. Vogel, *Phot. Archiv.*, 1863.
2. *Max Schultze'sches Archiv.*, vol. IV, 1870, p. 205.

que le foyer inférieur arrive exactement au même niveau dans tous les numéros de la même série quand ils sont placés dans le tube du microscope. Le changement d'oculaire n'entraîne par conséquent aucun changement dans la mise au point, et la *longueur optique* du tube, qui est l'élément dont dépend l'amplification, conserve une valeur constante. Cette longueur optique du tube est, sauf les petits écarts pouvant exister entre les différents objectifs de 0m180 quand la longueur réelle du tube, depuis le bord inférieur contre lequel s'applique l'entonnoir de l'objectif jusqu'au bord supérieur sur lequel repose l'oculaire, est de 0m160.

Zeiss construit deux séries d'oculaires compensateurs : les oculaires *chercheurs* et les oculaires de *travail*. Les premiers sont précieux pour l'examen rapide d'une préparation, parce que l'objet apparaît sous un angle visuel faible (12° à 24°).

Lorsque l'on voudra projeter l'image microscopique (et c'est le cas qui se présente en photomicrographie), on se servira des oculaires à *projection* imaginés par Zeiss. Ces oculaires sont tout à fait semblables quant à l'apparence extérieure aux oculaires ordinaires: on les dispose comme eux dans l'extrémité supérieure du tube du microscope. Ils sont tous formés d'une lentille collectrice de champ et d'un système projecteur qui n'est autre qu'un petit objectif photographique ordinaire. Ce système est soigneusement corrigé des aberrations chromatiques et sphériques: il est exempt de foyer chimique. Entre la lentille collectrice et le système projecteur se trouve un diaphragme destiné à limiter le champ de l'image et dont le système projecteur peut se rapprocher plus ou moins. L'oculaire porte au-dessus du système projecteur un diaphragme qui a pour but de supprimer complètement les rayons réfléchis sur les parois intérieures du tube. L'ouverture de ce diaphragme doit être telle que l'ouverture numérique extrême de l'objectif puisse être utilisé. Toutefois, il est parfois utile, lorsqu'on emploie des objectifs faibles de 0,3 à 0,6 d'ouverture, de diminuer un peu celle-ci afin d'obtenir une image uniformément nette jusqu'aux bords du champ: on se sert alors de diaphragmes supplémentaires à ouverture plus petite.

L'emploi de ces oculaires est extrêmement pratique en microphotographie, car dans cette application de la photographie les opérations se réduisent toujours à éclairer l'objet, le projeter, puis photographier la projection. Dans la première opération, on dispose l'image convenablement en se servant d'un oculaire ordinaire; il suffit donc de remplacer l'oculaire ordinaire par l'oculaire à projection et de visser ou dévisser le système projecteur jusqu'au moment où le bord du diaphragme se montre avec le maximum de netteté sur l'écran ou sur

le verre dépoli de la chambre noire. Plus la distance entre le verre dépoli et le microscope est petite, plus le système projecteur doit s'écarter du diaphragme. Les oculaires à projection construits par Zeiss portent des chiffres qui indiquent directement la multiplication par l'oculaire du grossissement initial de l'objectif ou, en d'autres termes, le rapport dans lequel la longueur focale de tout le microscope est diminuée. Ainsi l'oculaire 2 diminue juste de moitié la longueur focale d'un objectif quelconque; par conséquent, un objectif de 0^m003 projette avec cet oculaire, à une distance donnée, une image dont la grandeur est absolument identique à celle que donnerait sans oculaire, pour la même distance, un objectif dont le foyer ne serait que de 0^m0015.

L'amplification linéaire d'une image projetée est le quotient de la distance entre l'image et le foyer postérieur du système de lentilles, divisée par la longueur focale de ce système. Le foyer postérieur du système de lentilles correspond dans le microscope juste au bord supérieur de l'oculaire. On obtient la valeur de l'amplification de l'image pour une distance quelconque entre l'oculaire et l'écran en divisant cette distance exprimée en millimètres par la longueur focale de l'objectif employé et en multipliant le quotient obtenu par le numéro de l'oculaire. C'est ainsi que l'objectif de 0^m003 donnera avec l'oculaire de projection n° 2, à une distance de 1500 millimètres, une amplification égale à

$$\frac{1500}{3} \times 2 = 1{,}000.$$

Cette règle ne s'applique exactement qu'aux grandes distances; avec les distances faibles, les résultats que donne le calcul sont trop élevés.

Le diamètre de l'image projetée sur la plaque photographique varie avec le numéro de l'oculaire employé; elle est égale à 1/5 de la distance de l'image avec les oculaires 2 et 3; elle est de 1/3 avec les oculaires 4 et 6. Cette image peut d'ailleurs être prise à une aussi grande distance de l'oculaire qu'on le désire. Le minimum de la distance entre l'oculaire et l'image peut être de 0^m40 avec les oculaires n^{os} 2 et 4 et de 0^m25 avec les oculaires 3 et 6; par conséquent, lorsqu'on voudra photographier avec de faibles grossissements ou avec de longues chambres noires, on emploiera les oculaires faibles. On devra préférer les oculaires forts 3 ou 6 quand il s'agira de photographier avec des chambres noires de faible longueur.

878. Amplificateur. — Woodward, dont les belles microphotographies sont si admirées, s'était aperçu des défauts que présentait l'image projetée directement soit par l'objectif, soit par l'emploi de l'oculaire. Lorsque la projection à l'aide de l'objectif seul se faisait en dehors des conditions normales, c'est-à-dire à une distance de l'objet supérieure ou inférieure à celle qui correspond à la longueur du tube pour laquelle l'objectif est corrigé, la netteté laissait à désirer. Woodward se servit d'une lentille divergente qu'il plaçait près de la lentille postérieure de l'objectif, après avoir soigneusement mis au point et enlevé complètement l'oculaire : l'image se formait alors plus loin. Rien n'était changé à la marche des rayons dans l'objectif et aux qualités de l'image si la lentille divergente était bien construite, comme l'étaient d'ailleurs celles qui sortaient des ateliers de Tolles. Cette lentille a reçu des Américains le nom d'*amplifier*. Elle s'adapte à l'extrémité du tube de tirage du microscope, et c'est en enfonçant ou retirant ce tube que l'on modifie la distance à laquelle l'image est nettement projetée. Les amplificateurs construits par Tolles doublaient le grossissement du microscope : un objectif donné, muni d'un amplificateur, fonctionnait comme l'aurait fait un objectif de foyer moitié moindre employé seul.

Si l'on ne veut pas se servir des oculaires à projection de Zeiss (qui constituent à notre avis le meilleur système que l'on puisse recommander), il faut recourir à l'emploi de l'amplificateur pour projeter l'image sur la glace sensible ; mais cet amplificateur doit être aussi exempt que possible des aberrations sphériques et chromatiques. Nachet, à Paris, construit fort bien cette lentille. Zeiss avait construit pour ses anciens objectifs à immersion homogène une lentille qui, ajoutée à l'intérieur du tube de tirage, permettait de projeter l'image à la distance de 1 mètre ou 1^{m}50. Ce système est analogue à celui de Woodward [1].

879. Condensateurs. — La préparation microscopique placée sur la platine doit être éclairée par transparence ; on emploie dans ce but des appareils appelés *condensateurs* ou appareils d'éclairage. Le plus ancien est celui de Dujardin. Cet instrument consiste en un système de lentilles achromatiques à foyer très court, qui primitivement se fixait sous la platine, et que l'on fixe aujourd'hui à l'aide de la sous-platine (*substage*). Les rayons émanés de la source lumineuse viennent former leur foyer au centre de l'objet lui-même, qui se trouve ainsi fortement éclairé. Ces conditions d'emploi, mise au point du condensateur et de centrage de ce dernier (ce qui s'obtient à l'aide de l'appareil représenté par la figure 646), sont extrêmement importantes pour l'observation directe ; elles sont indispensables pour l'obtention de bonnes microphotographies, comme l'a depuis fort longtemps reconnu Moitessier [2]. Voici comment il s'exprime à ce sujet :

1. *Americ. Micr. Journ.*, VI, n° 69, p. 169, et *British. Journ. of Phot.*, n° 1327, p. 651.
2. Moitessier, *La photographie appliquée aux recherches micrographiques*, 1866, p. 46 et suiv.

L'emploi de l'appareil de Dujardin exige quelques précautions spéciales sans lesquelles il ne fournirait que des résultats défectueux. *Il est nécessaire que l'image donnée par la source lumineuse coïncide rigoureusement avec l'objet que l'on étudie.* Une expérience préliminaire devra donc précéder chaque opération pour assurer la réalisation de cette condition indispensable. Si l'on fait usage, par exemple, de la lumière du ciel, on commencera par éclairer l'objet d'une manière quelconque et on le mettra parfaitement au point par les moyens ordinaires ; on dirige alors le miroir plan du microscope vers un objet très éloigné, une maison par exemple, qui viendra faire une très petite image au foyer du concentrateur. On cherche ensuite la position que doit occuper celui-ci pour que cette image soit vue nettement à l'aide du microscope : on est alors certain qu'elle coïncide rigoureusement avec l'objet.

L'éclairage de Dujardin a été remplacé par d'autres appareils appelés *condensateurs*. Il en existe un très grand nombre, dont le plus ancien, celui

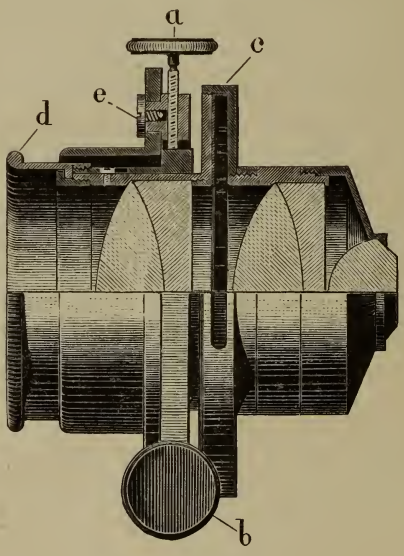


Fig. 647.

de M. Nachet[1], a servi de type à ceux de différents constructeurs. Quel que soit l'appareil adopté, il faut que dans l'éclairage de l'objet on puisse facilement satisfaire à deux conditions : d'abord l'image de la source lumineuse doit être projetée sur l'objet avec le plus de netteté et la plus grande intensité possible ; de plus, toute lumière ne concourant pas à la formation de l'image doit être autant que possible écartée.

Parmi les nombreux appareils qui permettent de satisfaire à ces

1. Voy. *Comptes rendus*, 1858.

conditions (et dont nous ne pourrions faire la description sans sortir du cadre de cet ouvrage), les condensateurs du Dr Abbe sont universellement adoptés par les micrographes. Zeiss construit trois modèles principaux de ces condensateurs : l'un ayant une ouverture numérique de 1,40, l'autre 1,20, et enfin un condensateur achromatique. Ce dernier est uniquement employé lorsqu'il s'agit d'opérer en lumière centrale : il consiste en deux systèmes de lentilles achromatiques.

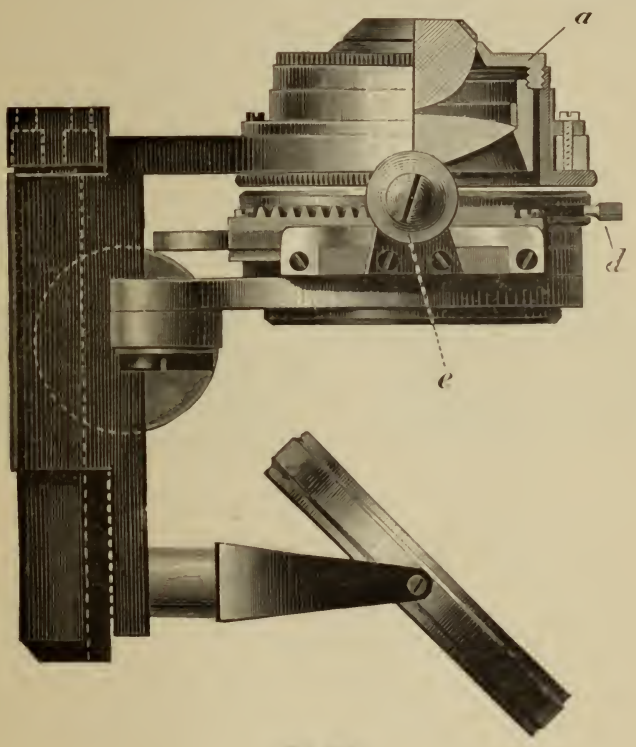


Fig. 648.

associés à une troisième lentille simple qui vient se placer au-dessous et tout près de la préparation. Ces lentilles sont montées dans un tube de cuivre (*fig. 647*) que l'on introduit dans la sous-platine ; les vis *a* et *b* permettent de disposer l'appareil convenablement ; un iris-diaphragme *c* permet de modifier l'ouverture numérique du condensateur de 0,1 à 1,0 ; il donne, même à pleine ouverture, une image nette de la source lumineuse ; il possède enfin une distance focale si grande qu'il peut remplir le champ de l'objectif apochromatique de

0m004 et 0,95 d'ouverture, instrument qui exige, même avec des objectifs faibles comme condenseurs, l'emploi d'un verre dépoli. Ce condenseur présente cependant le défaut de ne pas se prêter à l'emploi de la lumière oblique.

Lorsqu'il s'agit d'employer ce dernier éclairage, les condenseurs Abbe de 1,40 et 1,20 d'ouverture doivent être préférés à tous les autres appareils, même à la *traverse-lens,* qui est une lentille simple ayant la forme d'une demi-sphère et que l'on unit à la partie inférieure de la préparation à l'aide d'une goutte d'essence de cèdre; on projette sur cette demi-sphère un faisceau de rayons lumineux. Le condensateur d'Abbe de 1,20 d'ouverture se compose d'un système de deux lentilles simples fixées dans un tube *a* (*fig. 648*). Ce tube peut être fixé à une sous-platine portant un miroir; une crémaillère permet d'approcher ou d'éloigner de la préparation le système de ces lentilles et d'obtenir

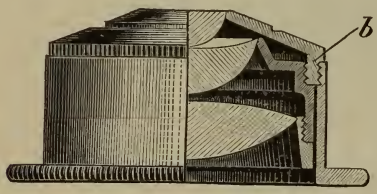


Fig. 649.

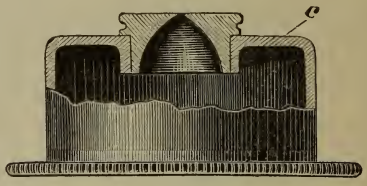


Fig. 650.

ainsi la mise au point de la source lumineuse; un iris-diaphragme, dont on peut modifier l'ouverture à l'aide d'un levier *d,* permet de diminuer plus ou moins l'ouverture. Le tube porte-diaphragme *e d* peut accomplir non seulement une révolution entière sur lui-même, mais encore il peut glisser dans le même plan par l'intermédiaire d'une crémaillère commandée par le bouton *e;* un ressort d'arrêt indique quand le diaphragme occupe exactement la position centrale. Le système optique *a,* de 1,20 d'ouverture, peut être remplacé soit par le système *b* (*fig. 649*) de 1,40 d'ouverture, soit par un porte-diaphragme *c* (*fig. 650*), que l'on peut glisser dans le tube supérieur à la place du système *a.* Ce porte-diaphragme est d'un emploi très utile pour centrer rapidement le condensateur.

Lorsqu'on emploiera ce condensateur pour l'examen des bactéries, on se servira de très grands diaphragmes, ou même on les supprimera complètement. Avec ce condensateur employé pour la lumière oblique, il y a avantage à utiliser des diaphragmes à ouverture péri-

phérique ou en forme de croissant : on étend ainsi la zone annulaire employée sans changer beaucoup l'obliquité des rayons admis.

On peut employer des objectifs microscopiques au lieu de condensateur. On obtient en particulier de très bons résultats avec les objectifs apochromatiques; il suffit d'employer des objectifs de 0,20 à 0,50 d'ouverture suivant l'ouverture numérique de l'objectif qui sert à former l'image. L'expérience a montré que l'emploi d'une ouverture d'éclairage égale à 1/3 de celle de l'objectif employé est la plus favorable dans presque tous les cas. On reconnaît facilement si cette condition est remplie en regardant dans le tube

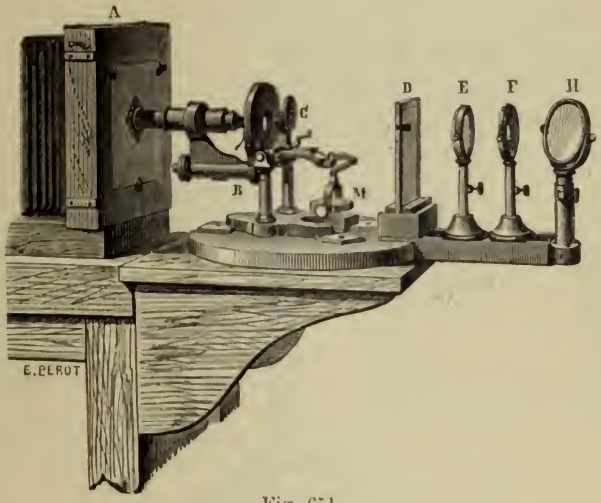


Fig. 651.

après avoir enlevé l'oculaire, l'objet étant bien éclairé. Le petit disque brillant qu'on aperçoit doit avoir un diamètre égal à environ le tiers de l'ouverture totale de l'objectif; s'il est trop large ou pas assez, on change le diaphragme du condensateur.

Dans quelques cas spéciaux on peut employer comme condensateur un petit objectif aplanétique de 0m06 à 0m08 de foyer.

880. Bancs optiques. — Pour obtenir rapidement et d'une manière pratique un bon éclairage, il faut avoir recours à un *banc optique* dont l'emploi indispensable a été indiqué par M. Moitessier[1]; sans cet appareil on est privé de tout moyen de diriger facilement l'éclairage. C'est une sorte de règle à coulisse *(fig. 651)* parallèle à l'axe du microscope, et dans laquelle peuvent glisser un miroir H,

1. *La photographie appliquée aux recherches microscopiques*, p. 72.

un diaphragme F, une lentille achromatique E, une cuve D à glaces parallèles destinée à contenir diverses solutions colorées dont nous verrons plus loin l'usage; tous ces appareils sont exactement centrés avec le condensateur C, appareil qui a été préalablement centré avec le microscope.

Le banc optique de Zeiss est fixé avec le microscope sur une table A (*fig. 652*) portée par une colonne et mobile dans le sens vertical; en C est fixée une pièce de fer recourbée vers le bas à angle droit et destinée à recevoir une lampe électrique à arc. Quand on emploie la lumière solaire, on se sert de deux écrans E et F percés d'un trou et qu'on peut déplacer verticalement à l'aide de crémaillères; les

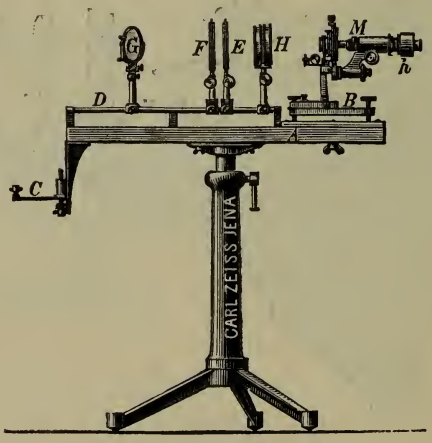


Fig. 652.

colonnes qui les portent sont, en outre, articulées de façon qu'on peut les rejeter rapidement de côté; en pressant sur un ressort, on les fait revenir d'eux-mêmes dans leur position primitive. Lorsqu'on emploie un objectif de faible pouvoir, ces supports à écran reçoivent alors un verre dépoli jouant le rôle de source lumineuse. Il est très utile de recouvrir cette glace dépolie d'une légère couche d'encaustique à la cire que l'on dessèche ensuite complètement à l'aide d'un chiffon de laine [1] : on obtient ainsi une surface très diaphane qui diffuse une lumière plus vive et plus uniforme qu'une simple glace dépolie. Le miroir plan G peut se déplacer verticalement à l'aide d'une crémaillère. Il est mobile également suivant deux directions horizontales

1. *La photographie appliquée aux recherches microscopiques*, p. 63.

rectangulaires à l'aide de vis micrométriques; cette dernière disposition permet de corriger les petites irrégularités de la marche de l'héliostat.

La cuvette à faces parallèles destinée à recevoir les liquides d'absorption se place en H.

881. Chambres noires; appareils complets. — L'image de l'objet étant convenablement éclairée par l'emploi du banc optique et du microscope, il faut projeter cette image sur la surface sensible.

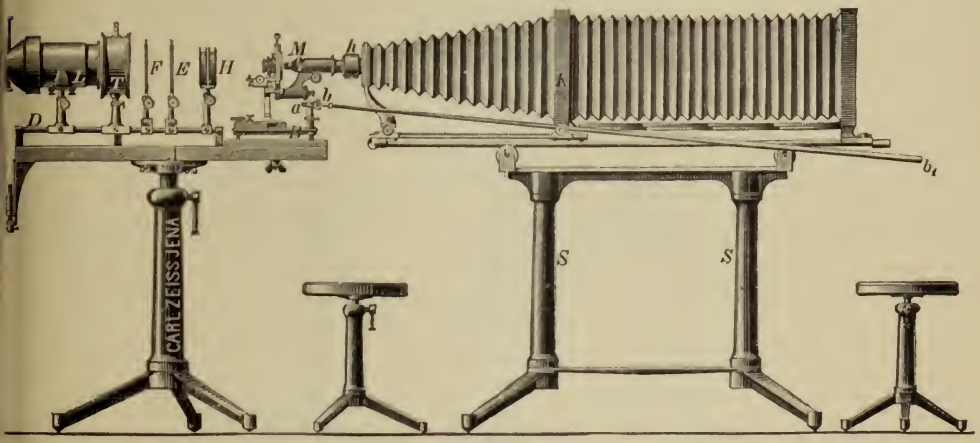


Fig. 653.

On se sert pour cela d'une chambre noire photographique qui ne diffère le plus souvent des appareils ordinaires que par la longueur considérable de son tirage et la précision de ses diverses pièces. Le banc optique, le microscope, ses accessoires et la chambre noire constituent l'appareil microphotographique.

Un des appareils les plus pratiques est le nouvel instrument construit par Zeiss [1]; il comprend les trois parties que nous venons d'indiquer. Le banc optique et le microscope d'une part, la chambre noire d'autre part, forment deux parties qui ne sont réunies (*fig. 653*) que lorsqu'il s'agit de photographier. Cette disposition présente deux grands avantages : 1° l'opérateur assis devant le microscope peut faire toutes les manipulations nécessaires pour l'éclairage avec la plus

1. *Special-Katalog über Apparate für Mikrophotographie*, Zeiss, Iéna.

grande facilité; 2° si l'on supprime la chambre noire, l'appareil peut être employé comme appareil à projection. Pour réunir la chambre noire K au microscope, on se sert d'une sorte de capsule *h* à deux parois concentriques, qui s'applique facilement au tube du microscope et reçoit entre ses parois un manchon correspondant fixé à la chambre noire; par ce moyen, toute lumière autre que celle qui passe par le tube du microscope est éliminée de l'intérieur de la chambre noire, et cependant les deux parties ne se touchent pas. Il

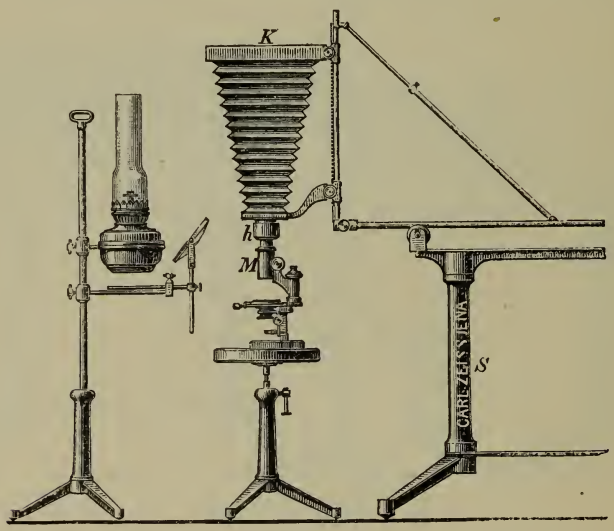


Fig. 654.

faut absolument éviter que la chambre noire touche le microscope, car en manœuvrant soit le châssis à épreuves, soit le châssis à glace dépolie, on peut modifier la mise au point.

Le support métallique B porte, à son extrémité tournée vers la chambre noire, un joint universel *ab* qui peut s'engrener avec la tête de la vis micrométrique servant à la mise au point; on peut ainsi, tout en examinant l'image sur la glace dépolie, manœuvrer la vis micrométrique à l'aide d'une longue tige *bb*.

La chambre noire proprement dite K est montée sur un bâti de fer, très solide SS; sa base, munie de rails, est mobile parallèlement à l'axe du microscope, elle repose sur quatre roulettes fixées au support; le tirage maximum de la chambre est $1^{m}50$. Le soufflet est divisé en deux parties : celle qui est près de la glace dépolie est prisma-

tique ; la partie antérieure présente la forme d'un tronc de pyramide (soufflet *dit* conique). Cette partie antérieure de la chambre noire peut servir à photographier, soit lorsque l'axe du microscope est dans une position intermédiaire entre l'horizontale et la verticale, soit lorsqu'il est complètement vertical. Dans ce cas, la mise au point de la glace dépolie peut être faite à l'aide d'un pignon fixé au cadre K (*fig. 654*) ; un autre pignon, fixé à la partie antérieure de la chambre noire, permet de la réunir au microscope. La planchette antérieure qui porte le manchon de raccord peut être changée rapidement et remplacée par une planchette portant un petit objectif photographique ordinaire lorsque l'on veut employer la chambre comme appareil de photographie macroscopique.

Les châssis sont construits pour plaques de $0^m18 \times 0^m24$; ils peuvent s'adapter soit à l'extrémité, soit au milieu K de la chambre. Pour la mise au point, on se sert de deux glaces : l'une dépolie sert à faire la mise au point *approchée*, l'autre est transparente ; elle porte une croix tracée au diamant sur la face tournée vers le microscope ; à l'aide d'une forte loupe, on examine en même temps cette croix et l'image projetée sur la glace jusqu'à ce que cette image soit nette : on obtient ainsi une mise au point très exacte.

L'appareil est complété par un *châssis multiplicateur* **(105)** permettant de faire six poses successives sur une plaque $0^m09 \times 0^m12$. Ces diverses images permettent de déterminer avec précision quelle est la durée d'exposition la plus convenable pour l'objet à photographier. Les images obtenues sont assez grandes pour juger des divers résultats que donnent les temps de pose.

Il est quelquefois utile pour la mise au point d'examiner l'image projetée sur une feuille de papier blanc : dans ce cas, on peut écarter un peu le soufflet du cadre postérieur de la chambre noire et on aperçoit l'image sur le cadre de papier blanc placé dans le châssis.

Cet appareil est très complet et répond à tous les besoins. Il en est de même de l'appareil excellent construit par Nachet. La chambre noire est formée d'une table solide à rainures très exactement faites pour laisser glisser l'arrière B (*fig. 655*) de l'appareil ; le soufflet possède un tirage de deux mètres ; un arbre latéral AF divisé en deux parties, et terminé, près du microscope, par une poulie A, sur laquelle s'engage une petite corde, met en mouvement le bouton de la vis micrométrique. Si l'on veut n'opérer qu'à petite distance, on replie la table au moyen de la charnière C. Pour opérer avec un long tirage,

on développe le tube et l'on réunit l'extrémité de la tige mobile F au bouton D, sur lequel est pratiquée une coulisse à serrage rendant

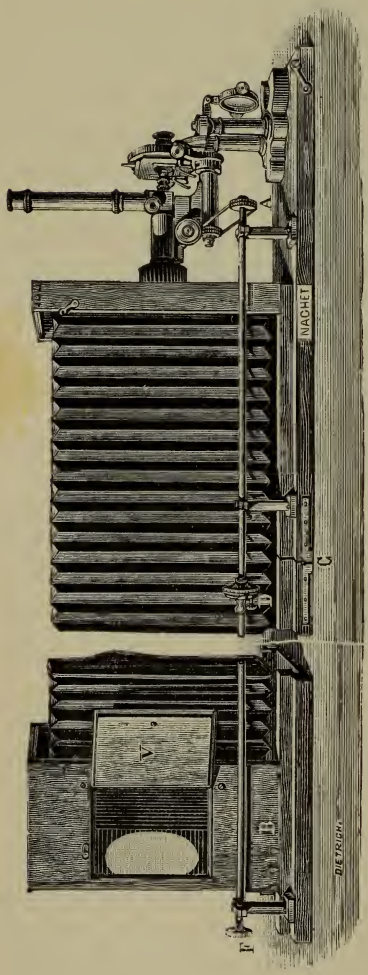


Fig. 655.

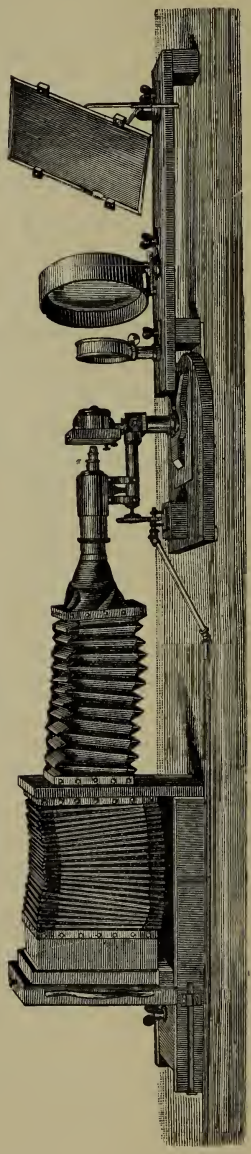


Fig. 656

solidaires les deux tiges, dont la partie extérieure repose sur une borne-guide qu'on peut démonter à volonté pour laisser replier la

table. La mise au point s'effectue, soit sur le verre dépoli, soit à l'intérieur sur un bristol, en observant l'image par la fenêtre pratiquée latéralement et qui peut être fermée par la porte V. La chambre noire peut recevoir tous les formats de plaques, depuis le $0^m09 \times 0^m12$ jusqu'au $0^m18 \times 0^m24$. La réunion du microscope avec la partie antérieure de la chambre noire est obtenue par un système particulier de tubes de cuivre, n'admettant pas de lumière extérieure, et rendant indépendants le microscope et le bâti antérieur de la chambre noire; on peut adapter à l'intérieur du corps les verres correcteurs ou oculaires spéciaux qu'il convient d'employer.

Seibert et Krafft ont construit une chambre noire analogue à la précédente. L'appareil complet (*fig. 656*) se compose d'un banc optique, du microscope et de la chambre noire à très long tirage (2 mètres environ). Dans l'appareil primitif, le soufflet antérieur de la chambre noire était supporté par le tube

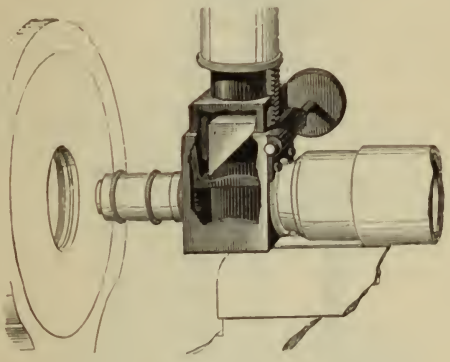


Fig. 657.

du microscope. Cette disposition, qui n'était pas absolument correcte, a été récemment modifiée[1] par W. et H. Seibert, qui ont adopté les dispositions générales de l'appareil de Zeiss. Ces appareils sont complétés par une série d'objectifs spécialement fabriqués pour la photomicrographie et qui comprennent des foyers de 0^m065, 0^m0254, 0^m0127, 0^m0064, 0^m003. Cette série, avec laquelle nous avons travaillé pendant longtemps, donne de très bons résultats pour les travaux d'anatomie microscopique. Pour des travaux plus délicats, les mêmes constructeurs fabriquent des objectifs apochromatiques permettant de répondre à toutes les exigences de la microphotographie.

L'appareil de Seibert permet de séparer facilement la chambre noire du microscope, ce qui est très commode pour effectuer tout d'abord l'éclairage de l'objet avant de mettre la chambre noire en place.

1. Voyez *Catalogue de W. et H. Seibert*, août 1890.

Nachet arrive au même résultat à l'aide d'une disposition spéciale permettant la vision simultanée dans l'oculaire et sur le châssis de mise au point (*fig. 657*). Cet organe spécial consiste en une boîte rectangulaire contenant un prisme à réflexion totale qu'on peut à volonté placer devant l'objectif ou élever pour laisser passer l'image dans le corps du microscope. Dans le premier cas, l'image arrive dans le corps vertical, et l'on peut ainsi diriger la lumière, chercher le meilleur point de la préparation, la disposer

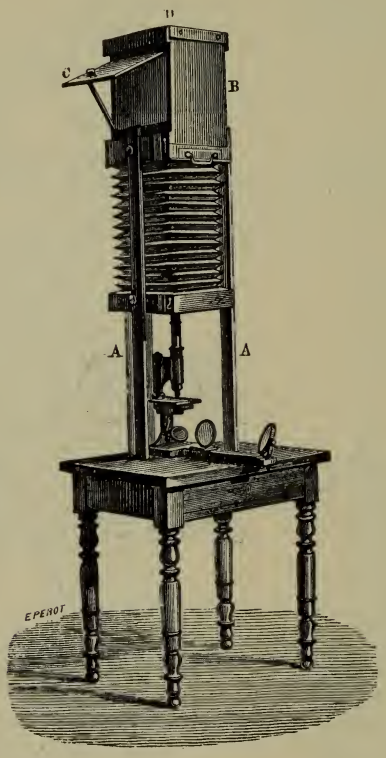


Fig 658.

comme on le désire; cela fait, on relève le prisme, et il n'y a plus qu'à achever la mise au point sur la glace dépolie.

La chambre noire et le banc optique dans la position horizontale constituent la disposition qui est le plus souvent employée. On s'est cependant servi, et l'on se sert encore, d'appareils à disposition verticale. Deux règles à coulisse AA (*fig. 658*) supportent la chambre noire; la glace dépolie se fixe à l'extrémité d'une allonge à ouverture latérale B; cette allonge est munie d'une porte C qui permet d'examiner la mise au point faite sur une feuille de papier blanc, car l'emploi de la glace dépolie n'est pas pratique. En effet, si l'on veut mettre au point en regardant en D par-dessus la glace dépolie, et tourner en même temps la vis micrométrique du microscope, la

longueur du bras est insuffisante; aussi, ce dispositif manquant de stabilité n'est recommandable que pour les appareils à petites épreuves (*fig. 659*), épreuves qui ont pendant longtemps été en grande faveur. Si l'on se borne à obtenir des images de $0^m09 \times 0^m12$, l'appareil de M. Nachet est très maniable : il se compose d'une chambre noire en noyer (*fig. 660*), ajustée sur deux règles, de façon à s'élever à différentes hauteurs, et pouvant être employée verticalement, horizontalement ou dans une position inclinée (*fig. 661*); le microscope est placé sur la planche qui sert de base à l'appareil, auquel est rattaché le raccord mobile vissé sur le corps du microscope, et laissant les mouvements de celui-ci indépendants de la chambre noire. Cet appareil est d'un emploi très pratique : il permet d'effectuer

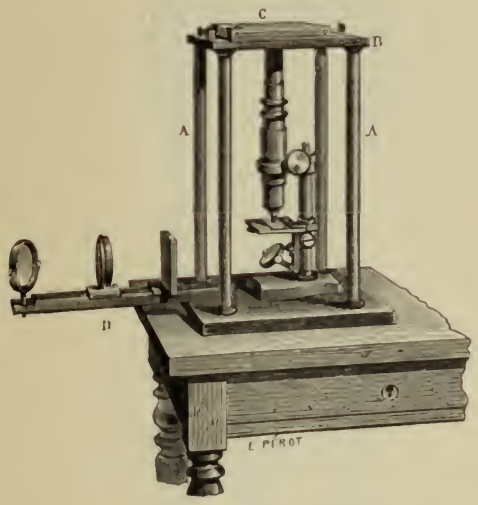


Fig. 659.

d'abord l'éclairage de la préparation, la chambre noire étant séparée du microscope; on approche ensuite l'appareil lorsque l'éclairage est convenable.

L'inconvénient qui résulte de la disposition verticale provient du manque de stabilité de l'appareil aussitôt que l'on atteint une amplification un peu considérable. Cette disposition est avantageuse cependant en ce qu'elle permet de maintenir très facilement sur le condensateur et sous l'objectif les liquides mobiles que l'on emploie pour l'immersion, tels que l'essence de cèdre ordinaire et la naphtaline monobromée [1].

Moitessier [2] a proposé l'emploi d'un microscope vertical adapté à une chambre noire horizontale (*fig. 662*). La chambre noire est placée horizontalement sur une table très solidement construite ; elle reçoit deux tubes de

1. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1890, p. 350.
2. *Loc. cit.*, p. 131.

zinc A rentrant l'un dans l'autre et permettant d'augmenter sans embarras la longueur de la chambre noire. Ces tubes, maintenus par un chevalet de bois B, fixés sur la table, contiennent dans l'intérieur plusieurs diaphragmes destinés à éliminer la lumière réfléchie sur leurs parois et portent en avant une pièce de cuivre C qui renferme un prisme à reflexion totale. Un tube vertical réunit le prisme avec le microscope D, dont il coiffe le corps de manière à intercepter complètement la lumière extérieure. La tablette de

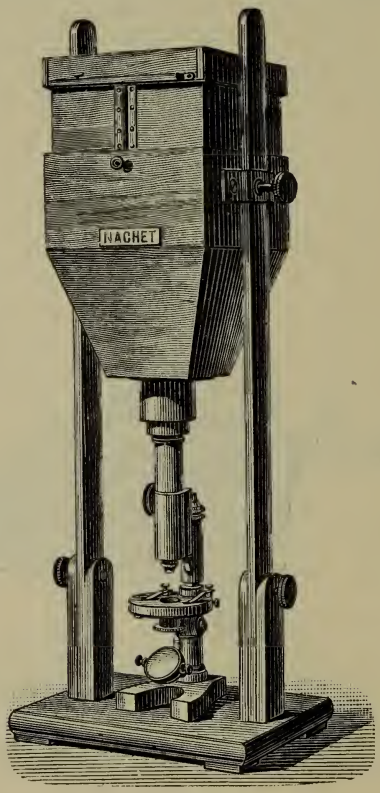


Fig. 660.

bois E, disposée sur le devant de la table, peut se fixer à diverses hauteurs par le moyen d'un boulon; elle supporte le microscope et tout l'appareil éclaireur, assujettis eux-mêmes sur une planchette circulaire mobile F, dont l'axe de rotation coïncide avec celui du microscope. Les rayons lumineux, après avoir traversé l'objectif, se réfléchissent sur l'hypoténuse du prisme et donnent ensuite une image de l'objet sur un écran blanc substitué à la glace dépolie. Cette disposition rend extrêmement facile la mise au foyer, même avec un très long tirage. Dans ce cas, on peut s'aider pour cette opération d'une lunette possédant un pouvoir amplifiant de deux à trois fois et mobile sur un pied vertical fixé sur la table de l'appareil; le plus souvent cette complication est inutile.

A. Girard[1] se sert d'un appareil coudé. L'axe de l'appareil est brisé en deux portions inégales : au sommet de la ligne brisée se trouve une glace argentée placée à une hauteur permettant de raccourcir la distance horizontale que le faisceau lumineux doit parcourir pour porter l'image agrandie sur la glace dépolie; pour une distance de 0m72, le plan de la glace réfléchissante est élevé à 0m42 et l'éloignement de la glace sensible au microscope est réduit à 0m30.

882. Appareils spéciaux. — Zeiss a construit, d'après les indications de Francotte, un petit appareil pour épreuves de 0m18 de coté. La chambre noire possède un soufflet de 0m60 de longueur; elle peut glisser sur un fort

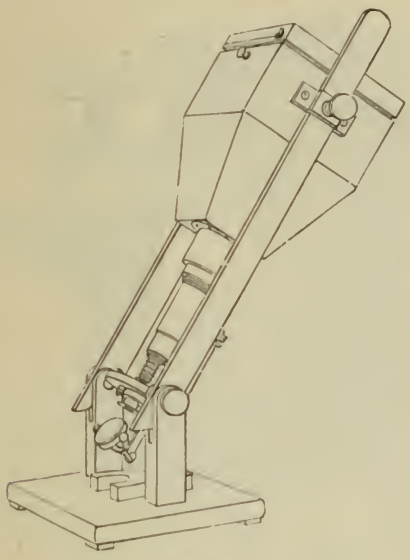


Fig. 661.

madrier et peut s'employer avec tous les microscopes munis de la charnière à renversement. Cet appareil est très pratique pour les travaux d'anatomie microscopique; son prix est d'ailleurs peu élevé.

Il est quelquefois utile de photographier des objets en mouvement, tels que des animaux microscopiques vivants. On n'obtient, dans ce cas, de bons résultats que par une exposition très courte. Nachet[2] a construit dans ce but un appareil spécial, basé sur le principe du microscope à deux corps; au-dessus de l'objectif (*fig. 663*), un prisme dirige l'image dans le corps oculaire placé sur les côtés; les observations se font donc comme dans un microscope inclinant ordinaire. La chambre noire, montée solidement sur des colonnes, contient la glace sensible qui ne reçoit aucune

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1875, p. 125, et 1885, p. 288.
2. *Journ. Roy. Soc. micros.*, 2e série, t. VI, 1886.

lumière, le prisme réflecteur servant lui-même d'obturateur à l'objectif. L'observateur, pendant qu'il étudie, a le doigt placé sur la détente A (*fig. 664*) ; aussitôt qu'il est satisfait de la formation de l'image, une légère pression chasse le prisme, laisse passer l'image pendant un temps très court : cette image se projette sur la plaque sensible. La mise au foyer se trouve établie par une disposition spéciale contenue dans le corps oculaire, à l'aide de laquelle chaque observateur doit régler sa mise au point une fois pour toutes, de façon que lorsque l'image est complètement nette dans l'oculaire elle est aussi au foyer sur la glace sensible.

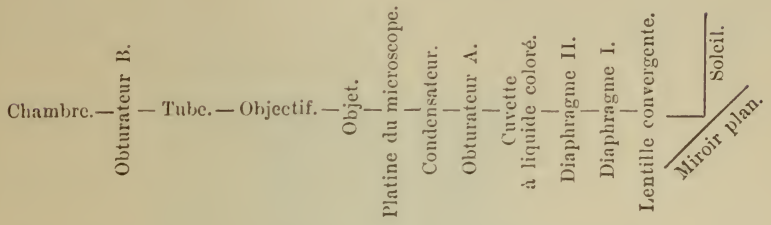
Marktanner-Turneretscher[1] a indiqué un dispositif commode pour photographier les organismes vivants et mobiles sous le microscope. Cet appa-

Fig. 662.

reil est basé sur le même principe que celui de Nachet : il consiste essentiellement en deux obturateurs que nous désignerons par A et B. Le premier, A, est destiné à diffuser la lumière solaire pendant l'observation, tandis qu'au moment jugé favorable pour l'exposition il livre passage à la totalité des rayons lumineux; le deuxième obturateur, B, ne mérite pas réellement ce nom : il a pour but de réfléchir dans le second tube de microscope qui lui est fixé les rayons provenant de l'objet. On examine donc celui-ci comme dans l'appareil de Nachet, et comme dans cet appareil on obtient ce résultat au moyen d'un prisme à reflexion totale monté sur une glissière, au moment de l'exposition la glissière se meut, entraînant le

1. *Phot. Correspond.*, 1888, pp. 182 et 187.

prisme de côté, et permet ainsi à la lumière de pénétrer dans la chambre noire. Le schéma suivant représente la disposition de l'appareil.



Pour obtenir une image nette de l'objet pendant l'observation au moyen d'un oculaire, il faut des dispositifs différents suivant le tirage de la chambre. Marktanner-Turneretscher emploie les deux lentilles d'un oculaire à micromètre, lentilles qui peuvent s'écarter ou se rapprocher dans

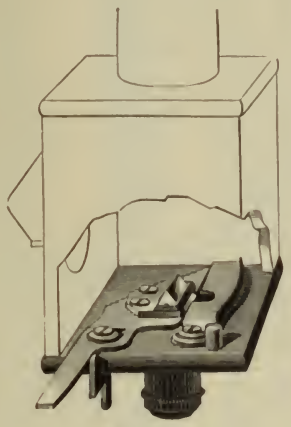


Fig. 663.

une certaine mesure. L'écart entre les deux lentilles ainsi modifiées est en raison directe du tirage donné à la chambre noire. Les obturateurs sont disposés sur un support spécial, qui est commun pour les deux. Ce support est placé sur une table spéciale; de cette façon, l'effet des secousses que subirait le système entier est atténué.

La photographie des objets opaques peut être faite à l'aide des instruments spéciaux pour l'éclairage des corps opaques; ces accessoires se montent facilement sur les grands modèles de microscopes. Moitessier[1] a indiqué pour ce genre d'opérations un appareil dans lequel l'objectif est fixé dans une position invariable: on fait mouvoir l'objet pour la mise au foyer. L'appareil est coudé, et l'objectif est vissé sur le tube vertical A (*fig. 665*)

1. *Phot. Correspondenz*, 1888, p. 136.

qui se trouve au-dessous du prisme à réflexion totale. L'objet est placé sur un support à crémaillère B. La tablette C est d'abord fixée à une hauteur convenable que l'on détermine une fois pour toutes; la mise au point s'effectue par le jeu de la crémaillère à mouvement rapide B et par celui d'un bouton qui fait mouvoir une vis micrométrique. Cette installation laisse

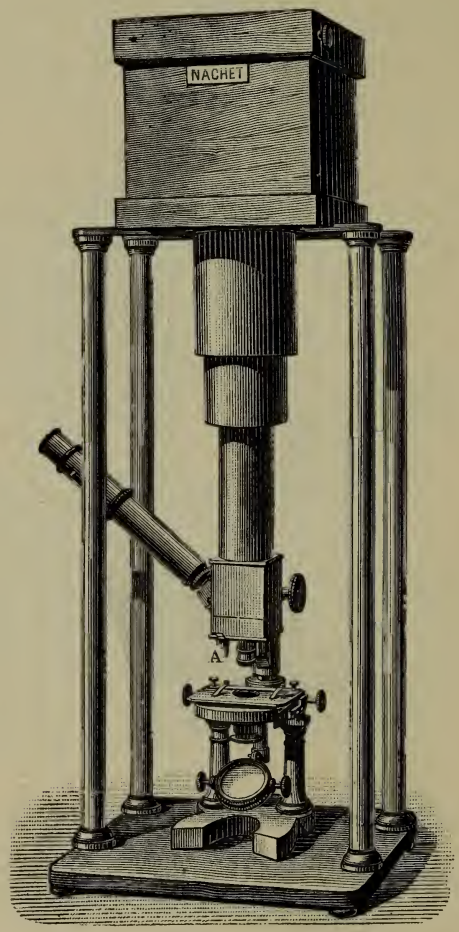


Fig. 664.

complètement libre tout l'espace compris entre l'objet et l'objectif, ce qui permet de manœuvrer avec facilité les appareils destinés à l'éclairage des corps opaques; elle se prête seulement aux objets qui ne demandent qu'une faible amplification.

Dans quelques cas, lorsqu'il s'agit de photographier certains insectes qu'il est intéressant d'observer dans leur ensemble et que les objectifs de micros-

copes ont un foyer trop court, on se sert d'un objectif photographique ordinaire. Moitessier [1] dispose l'objectif photographique en A (*fig. 666*) derrière le prisme B. S'il s'agit d'éclairer des corps opaques, on emploie une lentille

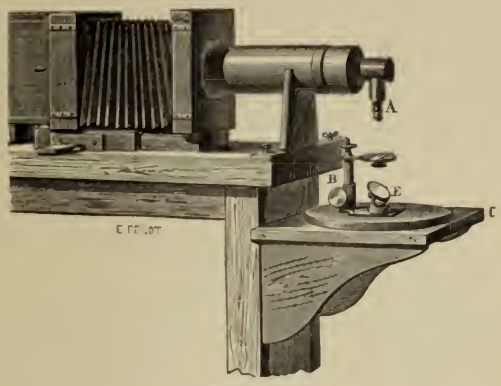


Fig. 665.

achromatique C, qui, à l'aide du miroir M, condense la lumière sur l'objet. On peut par ce moyen, qui a été recommandé par Benecke et par Marktanner-Turneretscher [2], appliquer la photographie à la reproduction d'objets

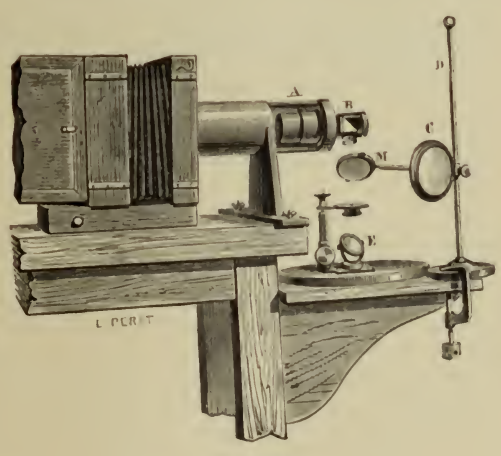


Fig. 666.

de grand format et que le microscope est impuissant à montrer dans leur ensemble. C'est ainsi que des préparations n'ayant pas moins de 0m015 dans

1. *Phot. Correspondenz*, 1888, p. 138.
2. *Die Mikrophotographie*, 1890, p. 86.

leur plus grand diamètre donnent de très belles épreuves avec une amplification de quatre à cinq fois. On peut encore reculer ces limites en faisant usage d'appareils à plus long foyer et reproduire avec une très grande netteté des objets de plusieurs centimètres, pourvu que leur épaisseur soit peu considérable par rapport à leurs autres dimensions. Donnadieu a fait construire sous le nom de *physiographe* un appareil de microphotographie qui permet d'obtenir des résultats de cette nature.

Signalons enfin parmi les appareils spéciaux le dispositif adopté par Woodward : l'image fournie par le microscope était projetée sur un écran placé dans le cabinet obscur; le dispositif adopté était analogue à celui que l'on emploie pour les chambres solaires d'agrandissement.

§ 2. — SOURCES DE LUMIÈRE.

883. Lumière solaire. — Nous avons vu que l'objectif microscopique différait de l'objectif photographique surtout par la manière dont on l'employait. En microphotographie, on se propose d'obtenir une image d'un objet dont le pouvoir éclairant est pratiquement nul; par suite, avant de projeter cette image et de la fixer sur la plaque sensible, il faut l'éclairer à l'aide d'une source lumineuse assez intense pour permettre une mise au point facile et une impression rapide de la plaque; de plus, cette lumière doit être d'un emploi pratique.

On utilise généralement la lumière solaire, la lumière électrique et celle des lampes au pétrole; ce sont là les trois principales sources de lumière auxquelles on a recours. On emploie aussi quelquefois, mais plus rarement, la lumière Drummond (**840**).

La lumière solaire n'est pas toujours à notre disposition, et de plus elle exige l'emploi d'appareils assez délicats appelés *héliostats;* ils ont pour but de maintenir dans une direction fixe les rayons solaires dont la direction est constamment modifiée par les divers mouvements de la terre.

Nous avons vu que l'héliostat était employé pour les appareils d'agrandissements (**818**). Le porte-miroir ou porte-lumière constitue un héliostat qui peut servir dans bien des circonstances, car avec la rapidité actuelle des plaques au gélatino-bromure, on peut admettre que l'image formée au foyer du condensateur ne change pas sensiblement de place pendant la courte durée de la pose. Un porte-miroir analogue à celui du mégascope de Bertsch (**820**) est d'un emploi commode lorsqu'on travaille avec des objectifs de faible pouvoir.

Parmi les nombreux modèles d'héliostats qui existent[1], l'un des plus pratiques est celui construit par Prasmowski : il permet d'obtenir en toute

1. Voyez Daguin, *Traité de physique*, t.IV, p. 62.

saison un rayon réfléchi suivant une direction fixe pour une même journée. Il se compose essentiellement (*fig. 667*) d'un miroir mobile autour d'un axe parallèle à l'axe du monde et faisant un tour en quarante-huit heures, grâce à un mouvement d'horlogerie. Sur la circonférence du tambour contenant ce mouvement est disposé un cadran portant les heures espacées les unes des autres par un intervalle divisé de 10′ en 10′; ce tambour est lui-même porté par un support qu'on établit sur une surface horizontale et qui permet de l'incliner de manière à faire coïncider l'axe du mouvement avec la direction de l'axe du monde dans le lieu où l'on opère.

Pour orienter l'instrument, après que le mouvement d'horlogerie aura été monté, on le place sur une surface bien horizontale, et, le miroir étant

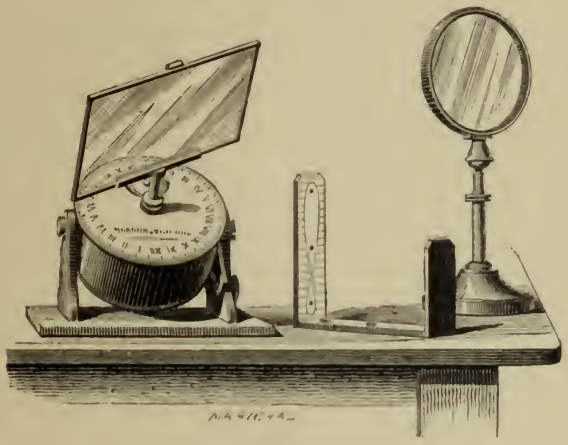


Fig. 667.

enlevé, on engage dans l'axe du mouvement qui la traverse comme une broche une règle métallique formant diamètre sur le cadran. Cette règle se termine à ses deux extrémités par un appendice perpendiculaire : l'un plus court, percé d'un petit trou, est une pinnule; l'autre plus long, marqué d'une division représentant l'équation du temps et les déclinaisons du soleil de dix jours en dix jours, reliées par une ligne continue; au pied de la pinnule la règle est percée d'une fenêtre qui permet d'apercevoir au travers le chiffre des heures gravées sur le cadran. Pour mettre l'appareil à l'heure, on fait tourner la règle autour de l'axe comme l'aiguille d'une montre jusqu'à ce que le chiffre de l'heure et fraction d'heure à laquelle on opère soit compris dans la fenêtre et que la division qui la représente sur le cadran coïncide avec un index placé sur le bord de la fenêtre.

Pour orienter l'héliostat, on n'a plus alors qu'à faire tourner l'instrument horizontalement sur la table, en l'inclinant plus ou moins sur son support, jusqu'à ce qu'un rayon de soleil, passant par le trou de la pinnule, vienne peindre sur la ligne des déclinaisons placée sur la branche opposée de la règle une petite image du soleil qui tombe exactement sur le point correspondant au jour de l'année.

Cela fait, l'instrument est orienté; on serre la vis réglant l'inclinaison sur le cercle des latitudes, on enlève la règle et l'on glisse dans l'axe du mouvement la tige du miroir, qui peut y tourner à frottement sans agir sur le mouvement d'horlogerie, ce qui permet d'amener le rayon réfléchi dans tous les azimuts : on obtient ainsi un rayon qui reste horizontalement immobile toute la journée.

Si l'on ne veut pas changer tous les jours la direction de l'appareil microphotographique, il faut employer un miroir accessoire qui permet de renvoyer le rayon *primaire* fourni par l'héliostat : c'est ce second miroir, fourni avec l'instrument, que l'on déplace tous les jours pour suivre la direction variable du rayon primaire horizontal. Mais ce miroir lui-même pourrait, dans certaines conditions, être insuffisant pour réfléchir les rayons solaires dans la direction de l'appareil; il vaut mieux employer un deuxième miroir accessoire qui est fort utile, surtout s'il est muni de mouvements mécaniques permettant de le déplacer lentement, comme le construit Zeiss. Par ce dispositif, l'on a, à portée de la main, un moyen pratique de modifier la direction des rayons lumineux; on peut faire coïncider cette direction avec celle de l'axe optique de l'appareil et corriger ainsi les irrégularités qui se produisent toujours dans la marche des héliostats. Ainsi donc l'on introduit trois miroirs sur le passage des rayons solaires, ce qui fait perdre une assez grande quantité de rayons lumineux; c'est pourquoi il est avantageux d'employer des miroirs de verre argentés à leur surface. Les constructeurs livrent habituellement des miroirs argentés *sous* la surface, parce que l'argenture légère est sujette à s'altérer sous l'influence des agents atmosphériques; mais rien n'est plus simple que d'argenter le verre et de polir la surface du métal. Voici la formule qui, depuis plus de dix ans, nous a constamment réussi pour l'argenture du miroir (0m85 de diamètre) du grand télescope de l'Observatoire de Toulouse; cette formule nous a été indiquée par les frères Henry. On emploi quatre dissolutions :

A) Eau distillée, 800 c. c.; nitrate d'argent, 64 grammes.

B) Eau distillée, 800 c. c.; ammoniaque à 25°, 120 c. c.

C) Eau distillée, 800 c. c.; soude caustique *pure*, 27 grammes.

D) On fait dissoudre 25 grammes de sucre blanc dans 80 c. c. d'eau distillée chaude, on ajoute 10 c. c. d'un liquide renfermant 100 c. c. d'eau et 3 c. c. d'acide nitrique pur, on fait bouillir pendant quelques minutes pour produire l'inversion du sucre, on laisse refroidir et on ajoute 20 c. c. d'alcool à 36° pour empêcher la fermentation, on étend ensuite avec de l'eau distillée pour amener au volume de 800 c. c.

Il est indispensable que la surface du verre à argenter soit d'une propreté absolue. On nettoie d'abord le verre avec de l'acide nitrique étendu de son volume d'eau en frottant la surface avec un tampon de coton imbibé de ce liquide, on lave à l'eau et l'on essuie avec un linge très propre; quelques instants avant d'argenter le verre, on recouvre sa surface d'un mélange de 50 c. c. de solution C et 50 c. c. d'alcool à 36°, on étend ce liquide sur le verre à l'aide d'un tampon de coton. La surface ainsi recouverte est plongée dans une cuvette contenant de l'eau distillée chauffée à la température d'environ 30°. Ce bain doit être assez abondant pour dissoudre rapidement le liquide alcalin et ne pas se refroidir sensiblement pendant qu'on prépare le mélange qui constitue la liqueur à argenter. Dans une cuvette en porcelaine, chauffée

à la température de 25 à 30° C., on introduit 40 c. c. de la solution d'argent A, 40 c. c. de la solution B d'ammoniaque et 40 c. c. de la solution C de soude caustique. Le précipité, d'abord formé, ne tarde pas à se dissoudre si l'on agite le liquide; lorsque la liqueur est limpide, on porte dans cette cuvette la glace qu'on avait abandonnée dans l'eau distillée, on agite légèrement la cuvette, la glace étant placée sur de petites cales en bois (ce qui permet d'argenter les deux faces du verre), on ajoute alors rapidement, mais en évitant de produire des bulles d'air, 40 c. c. de la solution de sucre interverti, on agite pour mélanger le tout : le liquide devient rapidement jaune brun, puis noir brunâtre; on agite tout doucement la cuvette : l'argent se dépose en ce moment. Après trois à quatre minutes, la surface du liquide se recouvre d'argent réduit; on retire la glace du bain, on la lave rapidement à l'aide d'un fort courant d'eau distillée et on la laisse sécher.

L'argenture ainsi obtenue est plus ou moins brillante suivant la pureté des produits employés; si la soude ou l'ammoniaque sont carbonatées, l'aspect de l'argent est plus ou moins nuageux, plus ou moins gris. Quoi qu'il en soit, il faut, lorsque la couche est *complètement sèche*, brunir d'abord, puis polir la surface de l'argent; ces deux opérations doivent être faites avec soin et en suivant d'une manière absolue nos indications. On fait un tampon de coton que l'on recouvre de deux épaisseurs de peau de chamois fine; on attache fortement le tampon ainsi obtenu, on le chauffe légèrement; à l'aide d'une brosse en crins très durs, on frotte énergiquement la surface du tampon de manière à enlever toutes les peluches, tous les corps étrangers qui peuvent se trouver sur la peau (la meilleure brosse à employer pour cette opération est la brosse à dents, forme cintrée, à crins très épais; on se sert d'une brosse neuve que l'on dégraisse à l'eau alcoolisée et que l'on laisse sécher; les brosses employées en bijouterie sont trop douces pour cette opération). Quand la peau de chamois n'abandonne plus de peluches et que sa surface paraît bien unie, on la promène légèrement d'abord, puis, en appuyant de plus en plus à la surface de l'argent, qui devient aussitôt brillante. Il faut de temps en temps interrompre l'opération pour brosser le tampon ; on s'arrête lorsque l'aspect de la surface n'est plus modifié par le passage du tampon : on a ainsi consolidé la couche d'argent qui peut alors être polie.

Le polissage s'effectue à l'aide d'un tampon semblable à celui qui a servi pour brunir. Après avoir préparé le tampon et l'avoir brossé, on le recouvre de rouge d'Angleterre; on enlève l'excès de rouge en frottant avec une nouvelle brosse ne servant qu'à cet usage. Il faut, en faisant cette opération, chercher à enlever tout le rouge. Le tampon peut servir lorsqu'il présente simplement une teinte rouge pâle; on le promène alors à la surface de la glace en opérant avec légèreté; le léger voile qui recouvrait l'argent disparaît immédiatement et l'on obtient un poli remarquable, sans rayures. La surface ainsi préparée peut se conserver pendant plusieurs années, à la condition de la préserver de la poussière, que l'on enlève à l'aide d'un long pinceau plat, très doux (pinceau de doreur); on brunit et on polit de temps en temps la surface des miroirs en faisant les opérations comme nous l'avons indiqué. En employant des miroirs argentés à leur surface, on évite non seulement les défauts produits par les doubles réflexions à la surface du verre et de l'argent, mais aussi les pertes de

lumière provenant de l'absorption par l'épaisseur de la glace. L'usage des trois miroirs permet d'éviter les pertes par réflexion; elles sont d'ailleurs peu importantes. En effet, en admettant que le miroir argenté ne réfléchisse que 0.60 à 0,65 de la lumière qu'il reçoit (cette quantité varie avec l'incidence des rayons), on n'aura qu'environ 0,25 de l'intensité primitive; mais les rayons ainsi réfléchis et qui forment un faisceau de 0m08 à 0m10 sont réduits, au moyen d'un système de lentilles, à n'avoir que 0m015 à 0m02; l'intensité primitive sera donc plus que quadruplée.

On peut employer l'éclairage solaire en lumière *centrale* ou en lumière *oblique*. Nous nous occuperons tout d'abord du premier mode d'éclairage, nous réservant d'examiner séparément l'emploi de la lumière oblique.

La manière dont on concentre la lumière solaire n'est pas indifférente. Quel que soit le système optique employé, il doit être exempt d'aberration sphérique et d'aberration chromatique. On emploie deux lentilles, placées au foyer l'une de l'autre; la grande lentille est convergente, la petite lentille est convergente ou divergente si l'on veut diminuer la longueur de l'appareil; les deux lentilles doivent être montées dans le même tube afin d'assurer leur centrage. On peut employer pour cet usage un objectif photographique comme lentille convergente et reprendre l'image solaire obtenue à l'aide d'un second objectif. Un ancien objectif à portrait (diamètre, 0m81; distance focale, 0m30) fera l'office de la lentille convergente; un petit objectif (de 0m027 de diamètre et 0m10 de distance focale) reprend l'image solaire et fournit un bon système de collecteur. Il faut ensuite chercher à obtenir la projection de la source lumineuse sur l'objet à éclairer. Cette projection doit être faite avec le maximum de netteté et d'intensité; de plus, il faut éliminer toute lumière qui ne concourt pas à la formation de l'image. On arrive à ce résultat en réglant convenablement l'ouverture du pinceau éclairant et on y parvient en diaphragmant le *condensateur*. Il est facile de déterminer la dimension qu'il convient de donner au diaphragme : elle doit être, dans presque tous les cas, telle que le *pinceau éclairant soit d'une ouverture numérique égale à environ le tiers de celle de l'objectif employé*. Cette détermination se fait en employant d'abord un petit diaphragme dans le condensateur. En enlevant l'oculaire du microscope après avoir mis au point, et, en regardant dans le tube, on voit au milieu du champ de l'objectif un disque faiblement éclairé : c'est l'image de l'ouverture de l'objectif; au centre apparaît un disque plus petit, vivement éclairé : c'est l'image de l'ouverture du pinceau éclairant. *Le petit disque brillant*

devra avoir un diamètre égal au tiers environ de l'ouverture totale, ce qui est facile à constater par ce moyen : si le diamètre du disque brillant est trop large ou trop étroit par rapport à celui du disque sombre, on change le diaphragme du condensateur.

Cette observation de la position du pinceau éclairant par rapport à l'ouverture de l'objectif, *faite en regardant dans le tube dont l'oculaire est enlevé,* est d'un emploi capital pour les recherches de micrographie ; elle permet de constater d'un coup d'œil : 1° si la source lumineuse agit correctement sur le condensateur ; 2° quelle est l'ouverture du pinceau éclairant qui est employée : 3° quelle est la portion de l'ouverture de l'objectif utilisée. Ce procédé est extrêmement commode lorsque l'on travaille avec la lumière oblique.

Il faut éviter d'employer des diaphragmes trop petits, car dans ce cas le temps de pose est considérablement augmenté ; de plus, il résulte des travaux d'Abbe que, même dans la lumière *dite centrale*, ce sont les rayons les plus obliques qui forment les plus fins détails perceptibles sur l'image : plus ces rayons seront obliques, plus les propriétés séparatives de l'objectif augmenteront. Dans certains cas même, par exemple lorsqu'il s'agit d'examiner des corps sans structure apparente et n'agissant que par leur coloration, tels que les bacilles, il faut, comme l'a indiqué le Dr Koch, employer un pinceau éclairant à large ouverture. Avec cet éclairage, en effet, toutes les parties de la préparation inutiles ou gênantes, mucosités, filaments, portions de tissus qui agissent par réfraction sur la lumière deviennent presque invisibles ; les corps colorés, au contraire, conservent leurs caractères, mais c'est là un cas exceptionnel. On emploie habituellement de petits diaphragmes ; il faut éviter d'en employer de trop petits pour éviter les franges de diffraction produites par les bords de l'objet, et qui, comme l'a fait observer Zeiss[1], troublent au plus haut point la netteté de l'image. C'est pour cela que l'éclairage direct de l'objet par le soleil sans l'interposition d'un système condensateur doit être proscrit absolument, même avec des objectifs de faible pouvoir pour lesquels ce mode simple et pratique d'éclairage suffirait au point de vue de la quantité de lumière. On doit dans ce cas diffuser la lumière en interposant entre l'objet et le soleil une plaque de verre dépoli pour obtenir des cônes lumineux sensiblement plus grands que ceux de un demi degré que peut donner la lumière solaire directe.

L'image solaire projetée sur l'objet, indépendamment de sa netteté et de son intensité, doit être assez grande pour recouvrir tout le champ de l'objectif employé ; il faut donc que le condensateur ait un foyer suffisamment long. Les rayons solaires forment un angle de 32′ en moyenne ; par suite, le diamètre d de l'image fournie par une lentille de foyer f sera

$$d = 2f \operatorname{tang} 16' = 0{,}0093\, f$$

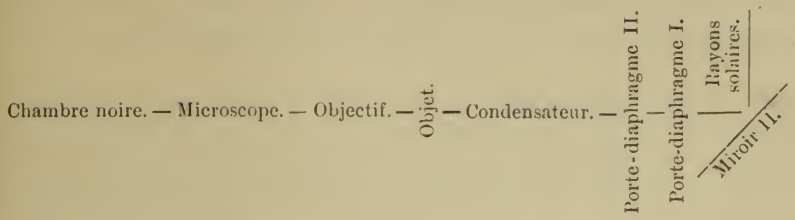
1. *Special Catalog. über Apparate für Mikrophotographie*, p. 14.

soit sensiblement 0,01 *f*. Ce diamètre devra être assez grand pour que l'image recouvre tout le champ de l'objectif. Cette condition est généralement remplie avec les objectifs de fort pouvoir. Avec les objectifs plus faibles on emploiera la lumière diffusée par une plaque dépolie, ou bien on fera tomber le foyer de l'image solaire dans l'intérieur de l'objectif; mais ce moyen ne sera employé que dans les cas extrêmes.

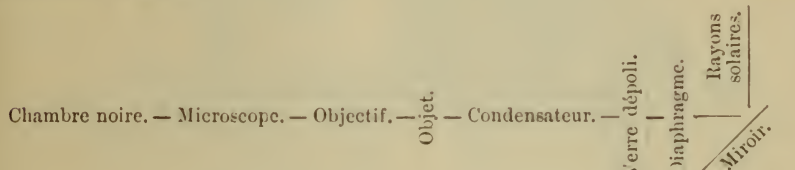
Pour utiliser facilement la lumière solaire il faut que les diverses pièces qui composent le banc optique aient été préalablement centrées sur l'axe du microscope. On dirige alors les rayons solaires dans l'axe de l'appareil; la chambre noire est amenée presque au contact du collier du tube du microscope; on agit sur le miroir du banc optique jusqu'à ce que les rayons lumineux aient produit au centre de la glace dépolie de la chambre noire un disque lumineux parfaitement rond et uniformément brillant. Ce résultat étant obtenu, on repère la direction des rayons solaires; on y parvient à l'aide des deux porte-diaphragmes. Le porte-diaphragme le plus rapproché du miroir est muni d'un diaphragme convenable; le second porte-diaphragme est garni d'une glace dépolie sur laquelle on trace au crayon le contour de l'image solaire formée par le premier diaphragme; on repère exactement la position des porte-diaphragmes, et toutes les fois que l'on voudra diriger les rayons solaires dans l'axe du microscope, il suffira de mettre en place le verre dépoli sur son porte-diaphragme et de déplacer le miroir de manière que l'image du diaphragme vienne se circonscrire au contour tracé sur le verre dépoli; en enlevant ensuite le verre dépoli, les rayons solaires traverseront l'objectif.

Le Dr Koch opère différemment : il munit le microscope de l'objectif qui sert à régler le condensateur (objectif de un pouce ou deux pouces), il met au foyer de cet objectif la plaque dépolie du porte-diaphragme; avec un crayon il trace sur cette plaque le champ de l'objectif qu'il emploie et munit l'autre porte-diaphragme d'un diaphragme ayant un diamètre tel que l'image solaire qu'il laisse passer vienne se circonscrire au cercle tracé; lorsque les rayons solaires prennent cette direction, ils sont parallèles à l'axe du microscope et le disque lumineux se forme au centre du châssis à glace dépolie de la chambre noire.

Le schéma suivant indique la disposition des appareils lorsqu'on emploie la lumière solaire directe.



On peut employer la lumière solaire d'une manière *indirecte* et *l'on doit opérer ainsi toutes les fois que cette lumière donne une intensité suffisante pour les objectifs employés et les amplifications cherchées*. Dans ce cas, il suffit d'employer un simple porte-miroir pour renvoyer les rayons solaires sur la plaque de verre dépoli qui fait l'office de source lumineuse. On dispose alors les appareils de la manière suivante :



L'objet étant en place, le microscope étant muni d'un objectif faible, on met au point l'objet, puis on trace au crayon sur le verre dépoli quelques traits qui permettent de mettre au foyer du condensateur la plaque dépolie servant de source lumineuse; puis on place contre la plaque un diaphragme tel que la portion de la source lumineuse restant soit juste suffisante pour recouvrir la partie de la préparation que l'on veut reproduire. Il peut arriver que dans ces conditions la lumière n'ait pas une intensité suffisante; dans ce cas, on place sur le banc optique, en avant de la plaque à verre dépoli, une lentille à long foyer que l'on déplace jusqu'à ce que le verre dépoli intercepte sur le cône lumineux un cercle dont le diamètre soit un peu plus grand que celui du diaphragme : ce dispositif permet d'employer les objectifs à immersion.

Toutes les fois que l'on peut opérer à l'aide de la lumière solaire et que l'on n'emploie pas des objectifs de très fort pouvoir, il est très pratique d'employer l'éclairage indirect; c'est certainement la méthode la plus sûre pour obtenir de bonnes images de sujets d'anatomie végétale ou animale. On peut employer alors comme con-

densateurs, soit des objectifs faibles, soit, dans certains cas, des objectifs photographiques ayant de 0m08 à 0m12 de distance focale.

884. Lumière électrique. — La lumière électrique à *arc* ne peut être employée qu'indirectement, comme l'a fait observer le Dr R. Zeiss [1]. La position du point lumineux varie continuellement, malgré la perfection des régulateurs employés; aussi l'on se sert d'un verre dépoli que l'on éclaire fortement à l'aide de cette source lumineuse. Le charbon positif étant le plus brillant, Zeiss place ce charbon non au-dessus de l'autre, mais en avant. Le régulateur électrique est placé dans une lanterne portant à l'avant un sys-

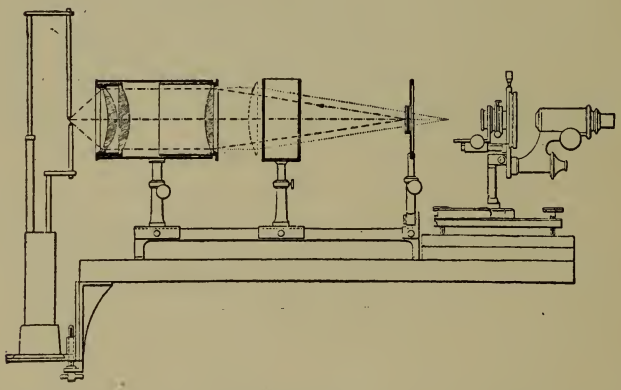


Fig. 663.

tème de lentilles condensatrices (*fig. 668*) et à l'arrière un miroir convergent. Le régulateur demande une grande énergie électrique; on ne peut guère l'employer que dans les grandes villes qui possèdent des distributions de force électrique. Les appareils sont disposés de la manière suivante :

Chambre noire. — Microscope. — Objectif. — Objet. — Condensateur. — Verre dépoli. — Diaphragme. — Lentille collectrice. — Lampe.

Pour éviter la forte élévation de température provenant de la lampe, Zeiss place entre, à la suite des lentilles collectrices, une forte cuvette en verre à face parallèle pleine d'eau ou d'une dissolution d'alun; cette cuvette est figurée en T (*fig. 653*, p. 131).

L'emploi des lampes à incandescence est très pratique. La lumière obtenue est fixe, très photogénique, et le Dr Van Heurck [2] la recommande tout

1. *Special Catalog. über Apparate für Mikrophotographie*, p. 26.
2. *Bulletin de la Société belge de microscopie*, 1882, p. 62.

particulièrement; mais il faut disposer d'une force électrique assez puissante. On peut employer de petites lampes actionnées par des piles ou par des accumulateurs, comme l'a recommandé Viallanes[1]. Une petite lampe de trois à quatre volts est très suffisante, et il suffit pour actionner celle-ci d'employer une batterie équivalente à quatre éléments Bunsen. On peut aussi employer le *photophore Trouvé*. La lampe de cet appareil sera installée sur le pied à crémaillère d'un des porte-diaphragmes du banc optique; elle est munie d'une lentille collectrice et d'un miroir réflecteur. Comme ces lampes dégagent peu de chaleur, on peut employer de petites lampes situées très près du condensateur du microscope; ces lampes peuvent alors

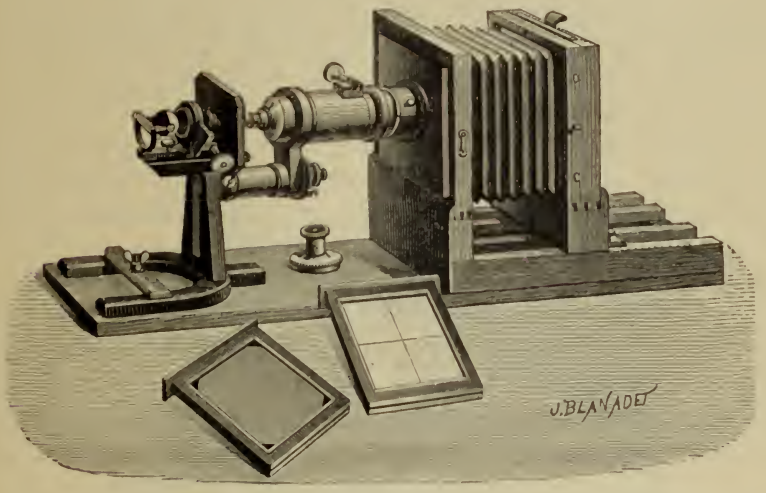


Fig. 669.

être montées sur un ajustage spécial qui permet de les mettre à la place du miroir du microscope (*fig. 669*), et à quelques centimètres seulement de la lentille postérieure du condensateur.

L'emploi des lampes à incandescence est particulièrement pratique dans les villes possédant une distribution d'éclairage électrique; on évite ainsi tous les ennuis résultant du montage et du démontage des piles nécessités par ce mode d'éclairage.

885. Lampes à pétrole. — C'est le mode d'éclairage le plus employé, bien qu'il soit un peu faible pour les objectifs de fort pouvoir. Les modèles de lampes au pétrole sont très nombreux: toutes ces lampes donnent de bons résultats pourvu que l'on les alimente avec du pétrole rectifié, bien exempt d'essence. Le modèle de lampe

1. *La Photographie appliquée aux études d'anatomie microscopique*, p. 22.

construit par Swift est celui que nous employons : il consiste en une lampe ordinaire, disposée de façon que la lampe présente au microscope sa *tranche* et non son plat; on condense ainsi toute l'intensité lumineuse sur le minimum de surface.

Zeiss[1] a obtenu d'excellents résultats par l'emploi combiné de l'éclairage au pétrole et des plaques orthochromatiques. Il conseille de prendre une forte lampe, de la placer à 1 mètre ou 1^{m}50 du microscope, et de former sur le verre dépoli, au moyen d'une grosse lentille biconvexe, une image de la flamme à environ 0^{m}25 de la préparation; cette image est alors reprise par le condensateur et transportée sur l'objet comme dans le cas de la lumière solaire. Dès que l'image de la flamme est mise au foyer sur le plan de l'objet, on enlève la plaque dépolie. Il ne reste plus qu'à amener sur l'objet la partie la plus brillante de la flamme; on y parvient par de petits mouvements de la lentille collectrice. Ce dispositif permet d'éviter que les rayons calorifiques, émis en abondance, n'altèrent soit la préparation, soit les appareils.

On peut aussi régler le collecteur de manière à ce qu'il projette sur le condensateur du microscope un faisceau de rayons à peu près parallèles; on y parvient à l'aide de deux lentilles collectrices, l'image de la flamme se formant au foyer de la plus petite des deux lentilles. Il est bon que le diamètre de cette lentille ne soit pas beaucoup plus grand que celui de la lentille postérieure du condensateur.

886. Lampe à gaz. — L'emploi du gaz de l'éclairage n'est pas très avantageux pour la microphotographie, du moins si l'on emploie cet éclairage directement. Avec les brûleurs Siemens, équivalents à six cents bougies, on a un foyer très intense; mais le point lumineux possède une surface beaucoup trop grande et les rayons calorifiques émis peuvent altérer les appareils; il faut donc employer l'éclairage indirect par projection de l'image de la flamme sur un verre dépoli. Pour des amplifications peu considérables on trouvera très avantageux de se servir d'un brûleur donnant l'intensité de soixante bougies.

887. Lumière Drummond. — La lumière oxhydrique peut donner de bons résultats pour les travaux exécutés avec des objectifs faibles; mais si l'on emploie des objectifs puissants, le déplacement du point lumineux a une influence désastreuse sur les travaux délicats exécutés avec ces objectifs. Dans ce cas, on ne peut employer la lumière oxhydrique que d'une manière indirecte, ou bien il faut posséder un moyen de rectifier la position du point lumineux. Quel que soit le procédé adopté, on disposera

1. Marktanner-Turneretscher, *Die Mikrophotographie*, p. 149.

l'appareil comme s'il s'agissait d'une forte lampe au pétrole parce que cette lumière chauffe beaucoup. On placera le chalumeau dans une lanterne C (*fig. 670*) munie d'une lentille collectrice et d'une cuve à eau : à l'aide d'une lentille D, placée sur le banc optique, on formera l'image du point lumineux à quelques centimètres du condensateur, comme nous l'avons indiqué pour les lampes au pétrole.

Les photographes qui possèdent des appareils de projection à lumière oxhydrique ont tout intérêt à se servir de ce mode d'éclairage, surtout en employant l'oxygène comprimé que l'on trouve dans le commerce; les manipulations sont extrêmement commodes et les résultats laissent peu à désirer.

Schmidt et Haensch[1] ont récemment construit un brûleur de Linneman qui projette, soit sur de l'amiante imprégné de zircone, soit sur une petite

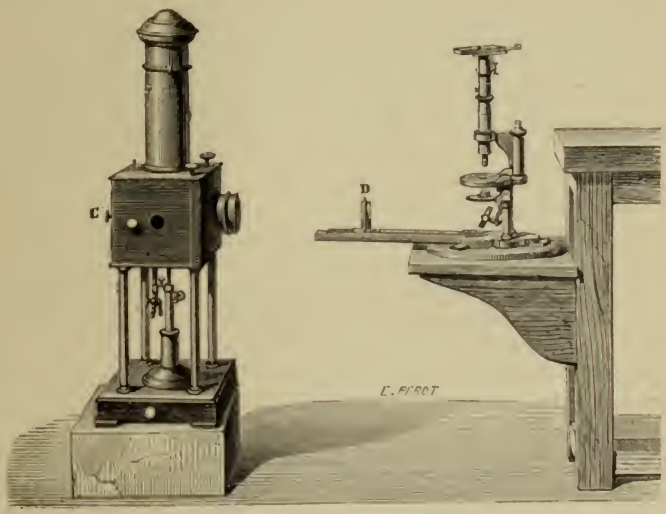


Fig. 670.

plaque de cette substance, un fort courant de gaz de l'éclairage brûlant au bleu : on obtient ainsi une lumière très vive, moins intense que celle fournie par la lumière oxhydrique, mais qui peut cependant donner de bons résultats. Marktanner-Turneretscher[2] indique ce dispositif comme étant très pratique. On peut d'ailleurs employer les brûleurs à gaz, au-dessus desquels se trouve un tissu de fils d'amiante imprégnés de zircone. Ces brûleurs se trouvent dans le commerce, et plusieurs observateurs préfèrent ce mode d'éclairage à celui qui est fourni par la lumière du pétrole; cependant, la chaleur assez intense que dégagent ces brûleurs est souvent incommode.

1. *Bulletin de la Société belge de microscopie*, 1890, p. 60.
2. *Die Mikrophotographie*, p. 146.

L'emploi de la lumière oxhydrique, dont nous avons indiqué le mode de réglage (**840, 842**), est particulièrement précieux lorsqu'on utilise indirectement ce mode d'éclairage; les variations qui se produisent dans la position du point lumineux n'ont plus alors une grande importance et la lumière obtenue est très brillante. A. Girard [1], Trutat, Crookshank [2], P. Jeserich [3], ont obtenu de très remarquables résultats en se servant de ce mode d'éclairage.

888. Lumière du magnésium. — Dans ces derniers temps, le prix du magnésium a considérablement diminué, et l'on peut maintenant employer d'une manière courante la lumière produite par la combustion de ce métal. Mais les appareils qui sont destinés à régulariser la combustion du fil ou du ruban de magnésium fonctionnent avec une irrégularité trop grande pour les appliquer à la microphotographie; cet éclairage ne peut être employé que d'une manière indirecte, et les résultats obtenus ne sont pas supérieurs à ceux que procure l'usage de la lumière oxhydrique.

La combustion rapide du magnésium peut servir à obtenir des photographies instantanées des animaux microscopiques vivants. On se servira pour cet objet d'une des nombreuses lampes qui se trouvent dans le commerce et que l'on vend sous le nom de *lampe-éclair;* on choisira un modèle donnant un point lumineux aussi petit que possible.

889. Intensité relative des diverses sources de lumière. — On sait qu'il n'y a aucune proportionnalité entre les quantités de lumière chimique et de lumière éclairante d'une même source. Le commandant Jolly et C. Féry [4] ont étudié séparément quelques sources à ces deux points de vue; ils se sont servis des dispositifs suivants.

Pour les essais photométriques ordinaires, ils ont comparé la lampe en expérience à l'étalon Carcel. Le photomètre employé consiste en un prisme de porcelaine blanche finement dépoli et présentant son arête rectangle du côté de l'observateur; cette arête est placée verticalement : l'une des faces du prisme reçoit les radiations de la lampe Carcel; l'autre face est éclairée par la lumière en étude. Lorsque, par le déplacement de cette dernière sur un banc optique spécial, l'égalité d'éclairement est obtenue, l'opérateur, visant l'arête du prisme dans une lunette, voit disparaître le relief de l'arête et a la sensation d'un plan uniformément éclairé. Si l'étalon est à 1 mètre, il suffit, pour obtenir en carcels la valeur de la lumière en expérience, d'élever au carré sa distance au prisme exprimé en mètres.

Pour obtenir la valeur photographique de chaque lampe, Jolly et Féry ont pris comme unité chimique la valeur de la lumière actinique versée par la carcel à 1 mètre et ont remplacé l'œil de l'observateur par un appareil

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1875, p. 125, et 1887, p. 288.

2. *Photography of Bactéria*, 1887.

3. *Die Mikrophotographie auf Bromsilbergelatine bei natürlichem und künstlichem Lichte unter ganz besonderer Berücksichtigung des Kalklichtes*, Berlin 1888.

4. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1890, p. 266. — *L'Électricien*, 3 août 1889.

photographique. Il est évident que lorsque les deux faces du prisme seront également éclairées sur le négatif obtenu les quantités de lumière active données par les deux sources seront en raison inverse des carrés de leur distance au prisme. Pour faciliter l'expérience, on emploie un spectroscope spécial, à vision directe, qui permet de voir à la fois les deux faces du prisme et donne deux spectres voisins des deux sources. En munissant cet appareil de l'oculaire fluorescent de Baille et Soret, les rayons actiniques deviennent visibles, et l'on peut, en comparant le violet des deux spectres, obtenir d'une manière très approchée la valeur de la lumière en étude; la photographie directe du prisme permet alors de terminer rapidement le réglage de la position de la source.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous. Il montre que la lampe Drummond a un assez mauvais rendement; il serait préférable de remplacer la chaux par de la magnésie, dont la lumière est beaucoup plus riche en rayons ultra violets.

Il est à peu près impossible de faire les mêmes essais pour la lumière du soleil. Son éclat est variable avec une foule de circonstances; la présence de la vapeur d'eau entre autres dans l'atmosphère enlève la plus grande partie des rayons actiniques sans absorber dans la même mesure les rayons lumineux.

PRIX du COMBUSTIBLE.	NATURE de LA LUMIÈRE.	DÉBIT du combustible.	NOMBRE de carcels lumineux.	PRIX du carcel-heure lumineux.	NOMBRE de carcels chimiques.	PRIX du carcel-heure chimique.
0 fr. 15 le gramme.	Magnésium.	0^{g}840 en 3^{m}35^{s}.	14	0 fr. 15	116	0 fr. 018
1 fr. 50 le kilog. watt-heure.	Arc électrique (charbons de 0^{m}009).	Courant continu 400 watts.	57 dans un plan horizontal.	0 fr. 0105	670 plan horizontal.	0 fr. 001
Oxygène à 0 fr. 20 le litre.	Lumière Drummond.	6 litres d'oxygène en 8^{m}17^{s}.	8,76	0 fr 73	17,7	0 fr. 36
1 fr. 50 le kilog. watt-heure.	Lampe à incandescence Gérard.	34 watts lampe peu poussée.	1,04	0 fr. 05	1,25	0 fr. 041
		62 watts.	7,4	0 fr. 0125	22	0 fr. 0042
		94 watts lampe très poussée.	19	0 fr. 0073	60	0 fr. 0023

890. Emploi de la lumière monochromatique. — Les objectifs microscopiques possèdent en général un foyer chimique, sauf les objectifs

construits spécialement pour la microphotographie et les nouveaux objectifs apochromatiques.

Les objectifs microscopiques semblent donc impropres à la microphotographie. On parvient à corriger cette cause d'imperfection des images photographiques en employant pour la photographie une lumière optiquement homogène, comme l'a indiqué M. de Castracane [1]. Il se servait pour obtenir cet éclairage d'un large prisme d'un pouvoir dispersif assez grand pour donner un spectre très étalé; la lumière solaire traversait ce prisme, et un diaphragme convenablement disposé ne laissait parvenir sur le condensateur que les rayons bleu verdâtre; l'image était mise au point par les moyens ordinaires. Cette méthode permet non seulement d'éliminer d'une manière absolue l'influence des foyers chimiques, mais elle possède encore l'avantage d'augmenter la netteté en détruisant cette superposition d'images causée par l'aberration chromatique. Brewster avait déjà remarqué que l'emploi de la lumière jaune permet d'obtenir d'excellents résultats avec les microscopes les plus défectueux. Hartnack, puis Zeiss, ont construit des appareils d'éclairage pour l'observation dans la lumière monochromatique. Au moyen d'un système de deux prismes fort réfringents, un spectre d'une longueur considérable est projeté sur la préparation; en employant de forts objectifs, tout le champ se trouve éclairé par une lumière monochromatique; en déplaçant la fente à l'aide d'une vis micrométrique, les différentes couleurs du spectre peuvent être amenées successivement dans le champ du microscope.

On peut supprimer l'emploi du prisme et produire des effets à peu près identiques en interposant sur le trajet des rayons lumineux un milieu transparent qui ne laisse arriver que de la lumière sensiblement homogène et d'une couleur telle que son activité chimique soit suffisamment intense. Dans ce but, on se sert de liquides colorés contenus dans une petite cuvette verticale à faces parallèles. On peut construire très facilement ces petites auges en mastiquant trois bandes étroites de glace entre deux plaques de glaces aussi pures que possible; un mastic composé de cinq parties de colophane, une de cire jaune et une de colcothar, s'applique à chaud avec facilité. La surface de la cuvette doit être telle qu'elle puisse recevoir à une distance convenable du collecteur tous les rayons qui en sortent ou qui y arrivent. Une surface de 0^m04 ou 0^m05 de côté est généralement suffisante [2].

Parmi les couleurs en nombre infini qui composent le spectre solaire et dont les principales sont le rouge, le jaune et le bleu, on doit éliminer l'emploi de la lumière rouge, car elle n'impressionne que très lentement les plaques photographiques. Pendant fort longtemps on s'est servi de la lumière bleue; mais l'emploi de cette lumière n'est avantageux que lorsqu'on a à utiliser les rayons photogéniques obscurs du spectre solaire; c'est le cas qui se présente dans la reproduction de certains tests très délicats.

Le jaune est doué d'une assez grande activité pour les plaques photographiques actuelles, en particulier pour les glaces orthochromatiques (**476**). Il y a avantage à employer une lumière monochromatique de cette couleur; en effet, les objectifs microscopiques sont généralement corrigés pour des rayons

1. *Nuovi Lincei*, XVII, 6 mars 1864.
2. Moitessier, *La Photographie appliquée aux recherches micrographiques*, p. 182.

se rapprochant du jaune, par suite, la différence entre le foyer jaune et le foyer blanc sera très faible. La correction des foyers chimiques sera d'autant plus précise que les rayons éliminés rouge, bleu et ultra violet sont ceux qui amènent les plus grandes différences entre les foyers optiques et chimiques. Un avantage pratique qui n'est pas à dédaigner résulte de l'emploi de la lumière jaune; cette lumière étant la plus brillante, la mise au point est très facile; de plus, comme l'a fait remarquer Zeiss, les reproductions des préparations colorées sont singulièrement facilitées.

Dans les couleurs complémentaires (orangé, vert, violet), la lumière orangé sera assez peu employée parce qu'elle est peu actinique : le vert, au contraire, jouit à peu près des mêmes propriétés que le jaune, et Zettnow[1] a fortement recommandé l'emploi des radiations comprises entre les longueurs d'onde $\lambda = 570$ et $\lambda = 550$. La lumière violette monochromatique n'est pas employée.

891. Liquides colorés. — On prépare une solution donnant une lumière *jaune* en faisant dissoudre du bichromate de potasse dans l'eau. On peut employer une dissolution saturée de ce sel; l'épaisseur doit être d'environ de $0^{m}01$ à $0^{m}02$. Zeiss emploie pour le même objet une solution d'acide picrique. Le chromate neutre de potasse a fourni de bons résultats à H. Peragallo.

Zettnow obtient une solution monochromatique *verte* en faisant dissoudre 150 grammes de nitrate de cuivre pur et 14 grammes d'acide chromique cristallisé dans 200 c. c. d'eau. Cette solution est employée dans des cuvettes de $0^{m}01$ d'épaisseur. Si l'on désire un liquide moins concentré, on fait dissoudre 175 grammes de sulfate de cuivre, 17 grammes de bichromate de potasse et 2 c. c. d'acide sulfurique dans un demi-litre ou 1 litre d'eau. On peut employer avec ce liquide des cuvettes ayant $0^{m}02$ d'épaisseur. Si l'on se sert d'une lampe à pétrole comme source d'éclairage, il faut étendre ce liquide de deux fois son volume d'eau. Le Dr Eder a recommandé pour obtenir un liquide vert un mélange d'une dissolution d'indigo dans l'acide sulfurique et une dissolution de 1 gramme d'acide picrique dans 150 c. c. d'eau; il suffit d'employer une couche de ce liquide ayant $0^{m}01$ d'épaisseur.

Le liquide *bleu* se prépare en dissolvant 20 grammes de sulfate de cuivre pur dans 100 c. c. d'eau distillée et ajoutant de l'ammoniaque en léger excès pour redissoudre le précipité bleu qui se forme d'abord; on amène ensuite le volume du liquide à 300 c. c. par addition d'eau distillée. On peut remplacer la solution de sulfate de cuivre ammonia-

1. *Centralbl. f. Bacteriol. und Parasitenk.*, 1888, IV, p. 51.

cal par le réactif de Barreswil, qui consiste en un mélange de sulfate de cuivre, de tartrate neutre de potasse et de soude caustique. La lumière transmise par ce liquide, quoiqu'un peu plus mélangée de rouge que la précédente, se prête peut-être mieux au but que l'on se propose d'atteindre. On prépare cette dissolution en faisant dissoudre 20 grammes de sulfate de cuivre dans 150 c. c. d'eau distillée ; on fait d'autre part une solution de 60 grammes de potasse caustique et de 80 grammes de sel de Seignette dans la même quantité d'eau, et l'on mélange les deux liqueurs filtrées. Ce réactif s'altère à la longue sous l'influence de la lumière, de sorte qu'il faut rejeter chaque jour le contenu de la cuve ; on conserve dans l'obscurité le flacon de réserve[1] que l'on additionne de 100 c. c. de glycérine par litre.

892. Verres colorés. — Au lieu d'employer des liquides, on peut se servir de verres colorés ; les faces de ces verres doivent être planes, parallèles et sans défauts. On fabrique aujourd'hui des verres jaunes réalisant ces conditions pour la photographie avec les plaques orthochromatiques ; il en existe de plusieurs nuances et de plusieurs épaisseurs ; on se sert généralement du verre jaune ou du verre coloré en bleu par les sels de cobalt.

893. Emploi des écrans colorés. — L'écran coloré se place sur le banc optique. La position de cet écran relativement aux diverses parties de l'appareil a une grande importance ; elle permet de régler dans certaines limites l'action que l'écran coloré exerce sur les rayons solaires. Celui-ci produira, en effet, le maximum d'absorption lorsque les rayons lumineux le traverseront avant de tomber sur le collecteur ; mais si l'écran se trouve placé après la lentille collectrice, son action devient moins intense, puisque la même quantité de lumière traversera une section plus petite du milieu coloré ; de plus, cette action diminuera à mesure que la cuvette sera placée sur des portions de plus en plus rétrécies du cône réfracté. On pourrait donc avec un même vase et une même dissolution obtenir des effets différents selon la position qu'on lui ferait occuper sur le trajet des rayons lumineux ; mais en pratique, on dispose les écrans de façon qu'ils soient traversés par de la lumière parallèle ou bien on les place près de la lentille collectrice.

1. Moitessier, *La Photographie appliquée aux recherches microscopiques*, p. 185.

La mise au point définitive de l'image doit se faire dans la lumière monochromatique, ce qui n'offre aucune difficulté dans la lumière jaune, et c'est là l'un des avantages que présente l'emploi de cet éclairage. Mais avec la lumière verte ou avec la lumière bleue il n'en est plus de même : l'image est très peu éclairée et la mise au point est difficile, à moins que l'on n'emploie comme source d'éclairage la lumière solaire, auquel cas l'opération ne présente pas de difficultés. Si l'on utilise les diverses lumières artificielles, ou bien si l'on projette l'image assez loin de l'objectif, l'image manque d'intensité et la mise au point est très pénible. Moitessier a proposé de faire cette opération en se servant de la lumière blanche et de modifier la place du châssis d'une quantité correspondante à la différence de mise au point des lumières blanches et bleues pour un objectif donné. Il faut donc chercher quelle sera pour chaque objectif la différence qui doit exister entre la position normale de l'écran pour un éclairage blanc et celle qu'il devrait occuper pour la lumière bleue. Cette différence peut se déterminer assez laborieusement à l'aide d'un appareil au moyen duquel on donne successivement diverses positions à l'écran qui reçoit l'image; mais il vaut mieux, si l'on ne se sert pas de lumière solaire, employer l'éclairage jaune ou vert au lieu de l'éclairage bleu.

§ 3. — PROCÉDÉS OPÉRATOIRES.

894. Opérations à effectuer. — La microphotographie ayant pour but de reproduire par la photographie les images fournies par le microscope, il faudra pour photographier un objet : 1° l'éclairer; 2° projeter son image; 3° fixer cette image sur la plaque sensible.

L'éclairage de l'objet est du ressort de la technique microscopique, et ce n'est pas dans un traité de photographie que l'on peut indiquer avec détail quelles sont les meilleures méthodes d'éclairage. Or, en micrographie, si les appareils sont pour quelque chose dans les résultats obtenus, les méthodes sont tout, et malheureusement bien des traités du microscope sont muets sur ces méthodes. Nous croyons donc être utile à nos lecteurs en rappelant d'une façon sommaire la série des manipulations à effectuer pour employer correctement les appareils de micrographie. Nous supposerons que l'opérateur est muni des instruments les plus perfectionnés et que les opérations doivent être faites en vue d'obtenir une image photographique; de plus, la lumière solaire étant celle qui nécessite le plus de soins dans son installation, nous prendrons comme exemple l'emploi de cet éclairage.

895. Éclairage de l'objet. — Nous supposerons que l'on veut reproduire un objet à structure délicate et que l'on dispose des appareils suivants : oculaire compensateur, objectif à immersion et correction de 1,30 d'ouverture, condensateur formé par un objectif apochromatique (0,40 N. A.), et que l'on emploie la lumière solaire; il s'agit d'obtenir un bon éclairage de l'objet en lumière *centrale :*

1° La première opération à faire consiste à amener les rayons

solaires dans l'axe du microscope; pour cela, avant de placer l'oculaire, l'objectif et le condensateur, on donne à la chambre noire le maximum de tirage, et, à l'aide du miroir qui se trouve sur le banc optique dont les diaphragmes sont enlevés, on dirige les rayons solaires dans l'axe du microscope : ces rayons doivent produire au centre du verre dépoli une *tache ronde ayant le diamètre du tube.* Pour effectuer rapidement cette vérification, il est bon de tracer au centre de la glace dépolie deux cercles concentriques, l'un plus grand, l'autre plus petit que le diamètre du tube : la circonférence limitant le cercle lumineux est alors comprise entre celle des deux cercles.

2° On repère immédiatement la direction des rayons solaires en mettant en place les porte-diaphragmes, comme nous l'avons indiqué : l'un, le plus rapproché du miroir, est muni d'un diaphragme convenable; l'autre reçoit une plaque de verre dépoli sur laquelle on trace au crayon le contour du disque lumineux formé par les rayons solaires.

3° On sépare la chambre noire d'avec le microscope, on met en place l'oculaire, on visse à l'autre extrémité du tube un objectif faible (objectif désigné sous le nom de 3/4 de pouce, ou bien 1/2 pouce de distance focale), on place l'objet à photographier sur la platine, on le maintient à l'aide des volets, on visse l'objectif apochromatique sur la sous-platine; à l'aide de la crémaillère de la sous-platine, on amène l'objectif apochromatique assez près de la préparation et l'on agit sur les vis de la sous-platine de manière à amener approximativement, d'après la position des montures, les axes des deux objectifs à être sur la même droite; cela fait, on regarde dans l'oculaire et on abaisse ou l'on élève le tube du microscope à l'aide de la crémaillère ou du mouvement lent jusqu'à ce que l'on perçoive nettement l'objet. Cette mise au point étant obtenue, il faut centrer le condensateur. Pendant ces opérations, ainsi que pendant toutes celles où l'on regarde des images fortement éclairées par le soleil, on doit se servir de verres fumés pour préserver la vue.

4° On enlève l'objet, et à l'aide de la crémaillère de la sous-platine on élève l'objectif apochromatique jusqu'à ce que, regardant par l'oculaire, on aperçoive nettement le cercle métallique qui sert de monture à la lentille frontale de cet objectif; agissant alors sur les vis de centrage de la sous-platine, on amène ce cercle à être concentrique à celui qui représente le champ du microscope.

5° On remet en place l'objet, on substitue l'objectif à immersion à

l'objectif faible, on unit la préparation à la lentille frontale avec le liquide d'immersion, et, à l'aide des vis du chariot de la platine, on met en place la partie de la préparation à photographier : l'objet se trouvant au centre du champ, *on ne doit plus toucher à la préparation ;* cela fait, on munit le condensateur d'un diaphragme convenable réduisant son ouverture au tiers de celle de l'objectif, on remplace l'objectif fort par un objectif faible, on essuie légèrement la préparation, et regardant par l'oculaire on amène sur l'objet la petite image solaire ; on met cette image au foyer en agissant sur la crémail-

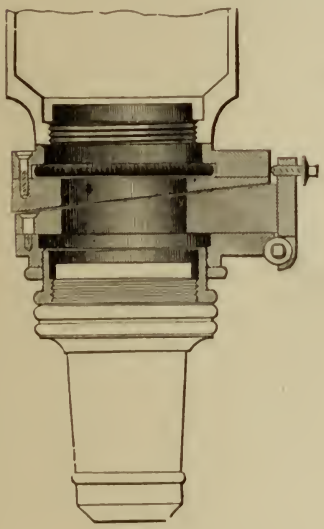


Fig. 671.

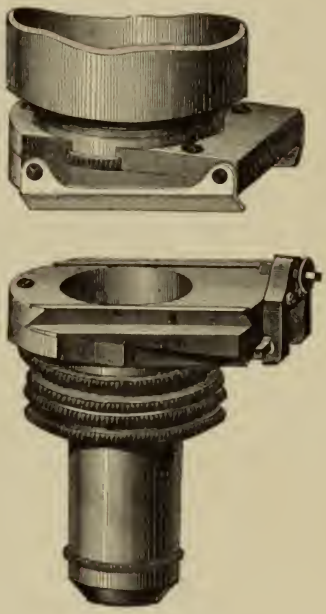


Fig. 672.

lère ou sur la vis micrométrique de la sous-platine, et on remplace l'objectif faible par l'objectif à immersion que l'on doit employer définitivement.

Tous ces changements d'objectifs sont assez longs et assez ennuyeux à exécuter; mais ils sont obligatoires à cause des changements de centrage provenant soit des objectifs, soit des revolvers ou adapteurs employés ; le centrage de ces appareils se dérange forcément au bout d'un certain temps. Zeiss a construit un système d'adapteur à coulisse qui permet de centrer les objectifs les uns par rapport aux autres et dont l'emploi est bien plus commode que celui du *Centering nose piece* construit en Angleterre. L'adapteur

de Zeiss, représenté en coupe (*fig. 671*), se compose d'une pièce se vissant au tube et d'une pièce portant l'objectif (*fig. 672*). La partie fixe se visse solidement au tube, les rainures de la coulisse dirigées d'avant en arrière; la direction de la coulisse n'est pas perpendiculaire à l'axe optique, mais un peu inclinée sur celui-ci : cette inclinaison est la même dans la pièce portant l'objectif; par suite, lorsqu'on enlève l'objectif, il s'élève un peu et n'endommage pas l'anneau de vernis fermant la préparation. Une vis butante, que l'on peut tourner à l'aide d'une clef, permet d'arrêter le patin et par suite l'objectif dans la même position. Cette vis constitue le mécanisme à centrage dans le sens de la direction de la coulisse. Une vis sans fin, se tournant à l'aide de la même clef, produit le centrage dans la direction perpendiculaire à la coulisse; après un bon centrage, le même point de la préparation revient exactement au milieu du champ après chaque changement d'objectif[1]. Nachet a tout récemment construit un revolver porte-objectif, dans lequel on peut obtenir le centrage de chaque objectif par un système analogue à celui employé dans l'adapteur de Zeiss.

6° On enlève l'oculaire et on regarde dans le tube si le diamètre du petit disque central vivement éclairé est le tiers du diamètre du cercle faiblement éclairé qui représente le champ de l'objectif. On obtient ce résultat en munissant l'objectif condensateur d'un diaphragme convenable; il ne reste plus qu'à placer la cuvette contenant la dissolution colorée ou le verre à faces parallèles et à effectuer la correction de l'objectif. Cette correction est indispensable si l'on veut photographier un objet présentant des détails très délicats, ou bien si l'éclairage est vif et intense, comme dans le cas de la lumière solaire. On peut effectuer empiriquement cette correction en tournant le collier de la monture d'objectif à correction dans un sens ou dans l'autre, tout en examinant un détail connu de la préparation; on manie en même temps la vis micrométrique et on s'arrête lorsque l'objet est vu avec la plus grande netteté et présente le mieux les détails de sa structure; ce résultat obtenu, on peut projeter l'image.

Les caractères suivants permettent de reconnaître si l'éclairage est convenable[2] : l'objet se détache avec des détails et contours bien nets, bien noirs sur l'image solaire, assez nettement limitée et embrassant la plus grande partie du champ optique. L'objet ainsi éclairé donnera une image riche en contrastes; avec un éclairage mal réglé, au contraire, les détails et les contours de l'image sont noyés dans une vive lumière : on obtient alors ces épreuves faibles, grises, sans vigueur, qui sont si connues de tous les débutants.

1. Zeiss, *Special Katalog*, p. 19.
2. *Ibid.*, p. 21.

896. Projection de l'image. — Les objectifs microscopiques sont, *par construction*, réglés pour projeter une image réelle à 0m16 ou 0m25 de l'origine du tube du microscope. On ne peut donc projeter directement *une image correcte sur un écran placé à une distance* QUELCONQUE *de l'extrémité du tube*, du moins avec les bons objectifs. Mais Moitessier a reconnu que par l'emploi des appareils à petites épreuves, dans lequel la surface sensible est à 0m16 ou 0m25 de l'objectif, on obtient des images remarquablement nettes. Frappé des défauts de l'image projetée directement par l'objectif, Woodward employa l'*amplificateur;* après lui Yvon, Viallanes, etc., ont utilisé cet appareil; actuellement, on se sert d'*oculaires à projections*.

Lorsque l'objet est bien éclairé, l'objectif étant corrigé, on supprime les verres fumés interposés sur le trajet des rayons pour protéger la vue, on met la chambre noire en place et on procède à une première mise au point. Cette opération se fait comme d'habitude sur la glace dépolie de la chambre noire, après que l'on a enlevé l'oculaire du microscope pour le remplacer par un oculaire à projection. On fait sortir du tube l'oculaire projecteur jusqu'à ce que l'image du diaphragme soit nette sur l'écran; l'image est alors à peu près nette. On perfectionne la mise au point; pour cela, on substitue à la glace dépolie une glace transparente portant sur celle de ses faces qui regarde l'objet une croix tracée au diamant; sur cette croix, on met au point une forte loupe des photographes, et cette loupe ainsi réglée sert à observer l'image; on termine la mise au point en agissant sur la vis micrométrique du mouvement lent du microscope. Il semble que les petits déplacements de l'objectif ainsi produits peuvent modifier la correction de l'objectif; il n'en est rien, pourvu que la première mise au point ait été faite avec une précision suffisante.

La vis micrométrique se manie à distance à l'aide d'une longue tige munie d'un joint universel; à l'aide de ce dispositif on peut mettre au point quel que soit le système de projection adopté.

Si on se sert de l'*amplificateur*, aussitôt que la mise au point avec l'oculaire est terminée, on enlève le tube de tirage et l'on visse à son extrémité l'amplificateur; on enfonce alors ce tube jusqu'à ce que l'on obtienne sur l'écran une image nette dans son ensemble; on termine ensuite la mise au point à l'aide de la loupe et de la vis micrométrique. Il faut faire ces diverses manœuvres avec précaution pour ne pas altérer la position de l'objectif.

La projection à l'aide de l'*objectif seul* s'effectue d'une manière très simple : il suffit d'agir sur la vis micrométrique jusqu'à ce que l'image soit

nette dans tous ses détails; dans ces conditions, il arrivera souvent que la projection n'aura pas la netteté de l'image examinée avec l'oculaire.

On peut enfin employer un oculaire orthoscopique pour projeter l'image; dans ce cas, si l'éclairage a été réglé en se servant d'un oculaire de cette nature, il suffit d'allonger le tube de tirage pour que l'image soit nettement projetée sur l'écran. La mise au point s'effectue avec précision à l'aide de la vis micrométrique lorsque l'on a obtenu une première mise au point approchée.

L'avantage que présente l'emploi des oculaires à projection réside en ce que l'image oculaire est projetée telle qu'elle est et que ce n'est pas une nouvelle image qui se forme. Il n'en est pas de même lorsqu'on projette soit à l'aide de l'amplificateur, d'un oculaire achromatique ou de l'objectif. Il arrive souvent que dans ce dernier cas on aperçoit sur la projection de l'image des anneaux ou cercles lumineux provenant de la réflexion de la lumière sur les parois du tube. On n'aperçoit pas ces défauts lorsqu'on projette à l'aide des oculaires à projection, ou bien lorsqu'on regarde directement l'image, parce que les diaphragmes des oculaires éliminent ces rayons réfléchis. Par suite, si l'on n'emploie pas les oculaires à projection, il y aura avantage à se servir de microscopes ayant des tubes aussi larges et aussi courts que possible. L'intérieur du tube doit être absolument noir; en pratique, on le garnit d'un tube de carton garni à l'intérieur avec du velours noir qui ne donne aucun reflet.

L'image bien éclairée doit se montrer sur l'écran avec des contours bien arrêtés; si elle est nette au centre et floue sur les bords, c'est que le pinceau éclairant est d'une trop grande ouverture; au contraire, une image terne dont les contours sont épaissis par les effets de diffraction provient d'un pinceau éclairant de trop petite ouverture; enfin, le champ doit être uniformément éclairé si tous les appareils sont bien réglés; en enlevant la préparation, le champ éclairé sur la glace dépolie doit présenter une teinte uniforme sans apparence de parties sombres. Lorsque toutes ces conditions sont réalisées, on obtient une bonne épreuve photographique si le temps de pose a été déterminé avec une précision suffisante.

897. Emploi des divers appareils d'éclairage. — Les renseignements que nous avons donnés pour l'emploi de la lumière solaire indiquent ce que l'on doit faire lorsqu'on se sert de toutes autres sources de lumière, telles que la lumière solaire employée indirectement, la lumière électrique, la lampe à pétrole, etc. L'emploi de l'éclairage au pétrole est généralement réservé aux appareils à petites épreuves et surtout aux appareils verticaux

lorsqu'il s'agit de photographier avec un objectif faible. Dans ce cas, à l'aide de la lentille collectrice, on projette sur une glace dépolie l'image de la lampe; avec le condensateur, on met au point sur l'objet cette même image de la lampe, on enlève le verre dépoli et l'on termine les opérations comme d'habitude.

Il y a souvent avantage, surtout lorsque l'on photographie des objets d'anatomie végétale ou animale, à se servir d'un petit objectif photographique au lieu d'un objectif de microscope. Nous avons vu que ces objectifs étaient à foyer très court par rapport à ceux employés en photographie. On les désigne par la longueur focale qu'aurait une lentille simple qui pourrait, dans des conditions identiques, produire la même amplification que l'objectif considéré; les plus usités sont les suivants :

Foyer.....	4 pouces.	3 p.	2 p.	1 p.	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{12}$
En millimètres..	108	75	50	25	10	6	4	3	2,5	2
Ouverture numérique N. A.	0,08	0,09	0,15	0,30	0,65 à 0,70	0,90 à 0,95	0,95 à 0,98	1,25 à 1,50	1,50 à 1,60	1,25 à 1,50
	»	»	»	»						

La première ligne relative à l'ouverture numérique indique cette ouverture pour les objectifs ordinaires à sec jusqu'à 1/6 et pour les objectifs de foyer plus court à immersion homogène; la seconde ligne indique l'ouverture des objectifs apochromatiques; c'est dans cette série que se trouvent les objectifs les plus puissants. Actuellement, les objectifs 1/10 sont ceux qui ont le plus fort pouvoir résolvant. En photomicrographie, il est inutile d'employer des objectifs d'un foyer plus court que 1/8 de pouce; la limite extrême d'amplification *utile* que permet un objectif de 1,40 d'ouverture peut être déjà atteinte par un objectif ayant 1/8 de pouce de distance focale; en se servant d'objectifs de foyer plus réduit, il y a perte de lumière, à cause des exigences pratiques de la construction de ces appareils. On se servait autrefois d'objectifs ayant 1/25e, 1/50e et même 1/75e de pouce, comme Tolles en a construit; on a reconnu qu'il n'y avait que des inconvénients à employer de tels objectifs d'un maniement difficile et d'un prix extrêmement élevé. On tend aussi à ne plus se servir des objectifs de 4 pouces, 3 pouces et 2 pouces, depuis que quelques opticiens livrent des objectifs à long foyer spéciaux pour la microphotographie. Zeiss a construit deux objectifs (foyers 0m035 et 0m070), et Hartnack, à Postdam, a établi une série d'objectifs photographiques (objectifs à projection) ayant 0m108, 0m80, 0m54 et 0m27 de distance focale. Ces objectifs s'emploient comme objectifs photographiques ordinaires en les fixant à l'avant de la chambre noire, ou bien en les vissant au tube du microscope, comme on le fait pour les objectifs microscopiques; dans l'un et l'autre cas, on les emploie sans oculaire; ils n'ont pas de foyer chimique et la mise au point s'effectue directement sur la glace dépolie.

Cet inconvénient du foyer chimique est complètement évité par l'emploi des objectifs apochromatiques. Mais ce n'est pas à dire pour cela que l'on ne puisse avec les anciens objectifs produire de bonnes épreuves; on trouve même dans ces objectifs des qualités précieuses pour la photomicrographie.

telles que l'absence de courbure du champ. Les anciens objectifs 1/16e de Powel et Lealand (objectif employé par Woodward), le 1/6e de Tolles, 1/4 de Dallmeyer, ceux de Swift, Nachet, Hartnack, etc., donnent de très bons résultats. Le 1/4 de pouce de Dallmeyer, en particulier, a été fortement recommandé par le Dr R. Pigott. Nous possédons un exemplaire de ce numéro d'objectif monté à correction; sa définition parfaite, son champ très plan, la facilité de son maniement, son pouvoir résolvant moyen (N. A. = 0,85) en font un excellent objectif pour l'observation directe et pour la photomicrographie en lumière monochromatique; il est tout à fait comparable aux meilleurs instruments photographiques ou astronomiques qui sortent des ateliers du célèbre constructeur anglais.

Lorsque l'on ne se sert pas d'objectifs apochromatiques ou de ceux qui sont exempts de foyer chimique, il faut forcément recourir à l'éclairage monochromatique. Dans ce cas, il est inutile d'employer un condensateur achromatique; il faut seulement que cet appareil soit exempt d'aberration sphérique, ce que l'on reconnaît en mettant au point l'image d'un objet éloigné formé par le condensateur; cette image doit être d'une grande netteté. Les condensateurs de Nachet, ceux d'Abbe, de Powel et Lealand, le petit condensateur de Klœne et Müller sont les plus employés. On peut d'ailleurs, pour condenser la lumière sur la préparation, se servir d'un objectif microscopique ordinaire ayant un foyer de 0m008 à 0m01. Si l'on emploie les condensateurs de Zeiss, il y a tout intérêt, après avoir centré l'appareil, à unir optiquement, à l'aide d'une goutte d'essence de cèdre, la lame portant la préparation à la lentille extérieure du condensateur. L'un des avantages que présente ce dispositif réside en ce que la réflexion à la surface inférieure du porte-objet n'existe plus. On opère toujours ainsi lorsqu'on se sert d'un objectif à immersion homogène.

On peut quelquefois employer la lumière diffuse pour éclairer la préparation à reproduire lorsqu'il n'est pas nécessaire d'obtenir une image très amplifiée par rapport à l'objet. Dans ce cas, on fait arriver sur le condensateur la lumière réfléchie par une surface blanche, telle qu'une feuille de bristol éclairée par le soleil ou bien la lumière envoyée par des nuages blancs; cette lumière est alors dirigée vers le condensateur par l'intermédiaire d'un miroir. Ces différents éclairages seront utilisés d'une manière indirecte, c'est-à-dire que l'on projettera sur un verre dépoli l'image de la source lumineuse; l'image du verre dépoli sera à son tour projetée sur la préparation.

898. Éclairage des corps opaques. — On peut avoir à photographier des objets microscopiques, tels que certains cryptogames végétaux, de petites coquilles, des foraminifères, des radiolaires préparés de telle sorte qu'ils ne peuvent être éclairés par la lumière transmise; dans ce cas, il faudra diriger la lumière dans les appareils d'*avant en arrière*. Tous ces sujets n'exigent pas l'emploi d'objectifs

de fort pouvoir. On les éclairera très facilement à l'aide du miroir de Lieberkühn qui a été employé pour la première fois par Leeuwenhoek[1] pour l'éclairage des corps opaques : il consiste en un miroir concave, de forme parabolique, s'adaptant au tube de l'objectif: l'extrémité du tube de l'objectif du côté de la frontale s'engage dans une ouverture percée au centre du miroir; cette ouverture est munie d'un tube glissant à frottement sur celui de l'objectif et permettant de faire coïncider le foyer du miroir avec l'objet à examiner; généralement, cette coïncidence est obtenue une fois pour toutes par le constructeur. Après avoir mis en place ce miroir, on enlève le condensateur, on dispose la préparation qui se trouve recouverte par le miroir comme par une cloche; on fait arriver sur le miroir un faisceau de rayons parallèles, et les rayons se réunissent au foyer de ce réflecteur, c'est-à-dire sur l'objet à éclairer.

Un autre dispositif consiste à diriger sur le miroir concave du microscope la lumière réfléchie par l'héliostat : ce miroir est monté sur un support mobile permettant de concentrer les rayons lumineux sur l'objet; au lieu de ce support, on se servira avec avantage du dispositif de Zentmayer. Dans les microscopes ainsi construits, le miroir peut tourner autour de la platine et venir se placer latéralement et au-dessus de celle-ci. On adoptera avec avantage aux microscopes qui ne possèdent pas ce système de monture un petit réflecteur parabolique se fixant sur le nez du microscope, entre le tube et l'objectif; ce petit appareil est connu en Angleterre sous le nom de *parabolic reflector*. Le réflecteur parabolique est particulièrement commode lorsque l'on photographie avec des objectifs de 4 pouces à $\frac{2}{3}$ de pouce : il permet un éclairage légèrement oblique et peut servir, alors que par suite de la trop grande distance frontale de l'objectif l'emploi du miroir de Lieberkühn n'est pas possible.

Moitessier a indiqué un moyen très pratique pour éclairer les corps opaques (*Voyez fig. 666, page 143*).

En se servant des objectifs à immersion, il n'est pas possible d'employer les divers moyens que nous venons d'indiquer. Dans ce cas, on se servira du *vertical illuminator* de Beck, pourvu que l'objet soit bien adhérent à la lamelle couvre-objet. Cet appareil se compose essentiellement d'une petite lamelle mince (couvre-objet) agissant comme miroir et mobile autour d'un axe perpendiculaire à l'axe optique du microscope. Cette petite lamelle

1. Harting. *Das Mikroskop*, III, p. 39.

se place à l'extrémité du tube à l'aide d'une monture qui s'intercale entre le nez du microscope et l'objectif. L'appareil a été primitivement construit pour éclairer avec des objectifs à sec des objets non couverts. L'objectif est utilisé lui-même comme condensateur : les rayons réfléchis par la lamelle convenablement orientée pénètrent de haut en bas; l'objectif les réunit en faisceau sur l'objet sous un angle très ouvert, puisque c'est l'angle d'ouverture de l'objectif. La plupart de ces rayons ne peuvent pas traverser la lamelle à cause de leur angle d'incidence plus grand que l'angle limite; ils sont alors réfléchis par l'objet, traversent sans difficulté la lamelle en remontant et vont former l'image. Schultze a recommandé de l'employer de la manière suivante : on place le tube du microscope verticalement ou à peu près; on visse le vertical illuminateur entre le cône et l'objectif à immersion, de manière que l'ouverture par laquelle arrive la lumière soit en avant; on place alors la lampe, le côté étroit de la mèche tourné vers le microscope droit devant celui-ci, à une distance de 0^m20 à 0^m25. Après avoir mis l'objectif à peu près au point, on dispose la lampe dans une direction verticale, telle qu'une ligne perpendiculaire à l'axe optique du microscope, tirée du centre de l'ouverture du vertical illuminateur, passe par la partie inférieure de la flamme, ou juste au-dessous du sommet de la mèche; on ajuste alors la surface réfléchissante du vertical illuminateur sur son axe horizontal, de telle sorte qu'une image distincte de la flamme apparaisse dans le champ visuel; le champ est complètement obscur, rien n'y est visible, sauf une raie lumineuse d'environ 0^m006 de largeur, qui traverse le milieu du champ dans la direction antéro-postérieure. Si toutes ces précautions ont été prises avec soin, et si une diatomée tout à fait adhérente au couvre-objet est poussée dans l'image de la flamme, ses stries apparaissent brillamment et distinctement résolues, pourvu qu'elles soient dirigées perpendiculairement à la bande de lumière[1]. Le maniement de cet appareil est assez difficile. Les images sont toujours plus ou moins colorées, mais on les améliore beaucoup en plaçant sur le trajet des rayons un écran percé d'une fente verticale de 0^m001 à 0^m002 de diamètre. L'écran doit être placé à mi-distance environ entre la lampe et le microscope et sa position exacte déterminée par tâtonnement; lorsque le tout est bien réglé, le vertical illuminateur donne des résultats très remarquables. C'est avec lui que Van Heurck a réussi à photographier[2], avant de les avoir vus, les perles de l'*Amphipleura pellucida*.

899. Emploi de la lumière oblique. — Lorsqu'on photographie en éclairant l'objet microscopique par la lumière centrale (c'est-à-dire par un cône de rayons lumineux ayant pour axe l'axe même du microscope), la formation des plus fins détails de l'image est due aux rayons les plus obliques. Si l'on emploie exclusivement des rayons obliques à l'axe, si l'on se sert de l'*éclairage oblique*, on peut apercevoir bien des détails qui ne se montrent pas en lumière centrale. C'est surtout depuis les recherches d'Abbe et la publication

1. H. Peragallo, *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, 1882, p. 273.
2. *Bulletin de la Société belge de microscopie*, 1885.

des expériences de Stephenson que l'on a reconnu l'action de la lumière oblique. Ce mode d'emploi des éclairages est cependant peu usité, bien qu'il permette d'obtenir des résultats très intéressants. La plupart des micrographes laissent de côté cet auxiliaire précieux de la photomicrographie pour deux raisons principales : d'abord leur ignorance à peu près complète de la théorie de la formation des images microscopiques, ensuite les difficultés réelles que suscite l'emploi de la lumière oblique. Il n'y a guère que les diatomistes qui s'en servent, et il faut bien reconnaître que c'est grâce à leurs travaux et à leurs justes exigences que sont dus presque tous les progrès du microscope depuis une vingtaine d'années[1]. A ceux qui veulent perfectionner leurs connaissances de technique microscopique dans le but d'obtenir de bonnes photomicrographies, nous ne saurions trop recommander l'étude pratique des diatomées[2] et la photographie de ces infiniment petits ; c'est le meilleur moyen de se rendre compte du fonctionnement des appareils.

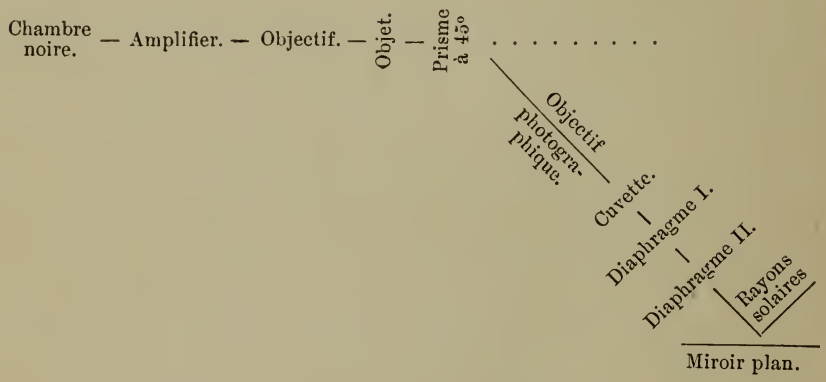
Les règles que nous avons indiquées pour l'emploi de la lumière centrale doivent être observées pour le centrage des appareils, lors même que l'on doit employer la lumière oblique. On se servira soit du condensateur Abbe (1,40 d'ouverture), soit de celui de Powel et Lealand. Le condensateur sera uni à la préparation au moyen d'un liquide ayant un indice de réfraction aussi voisin que possible de celui du verre. Le centrage et la mise au point du foyer lumineux en éclairage central seront faits aussi soigneusement que possible. On passe alors à l'emploi de l'objectif à immersion ; on met au point sur la préparation en lumière centrale d'abord ; on remplace le diaphragme à ouverture ronde du condensateur par un diaphragme ayant une ouverture périphérique ou en forme de *croissant*, comme ceux qui accompagnent le condensateur Abbe ; on met au point la préparation ; on enlève l'oculaire et l'on examine si l'on peut augmenter l'obliquité de l'éclairage, si l'ouverture du diaphragme est

1. H. Peragallo, *Histoire sommaire du microscope composé et de ses récents perfectionnements*, 1883.

2. Nous ne parlons que des diatomées difficiles à résoudre, telles que la *Nitzchia linearis*, la *Navicula rhomboïdes*, *Nitzchia vermicularis*, *curvula*, *Amphipleura pellucida*, etc. Les frustules de ces diatomées portent un nombre de stries variant de trois mille à cinq mille par millimètre. On employait autrefois comme test le *Pleurosigma angulatum* (environ deux mille trois cents stries au millimètre) et la *Surirella gemma* (environ deux mille huit cents stries par millimètre). Ces diatomées ne sont plus employées comme *test en lumière oblique* s'il s'agit d'objectifs puissants,

suffisante, etc. L'obliquité des rayons lumineux étant obtenue, on *corrige* l'objectif de façon à obtenir une image aussi nette et aussi éclairée que possible ; lorsque ce résultat est obtenu, on remplace l'oculaire par un *oculaire de projection;* c'est le seul moyen pratique d'obtenir une bonne photomicrographie. La projection à l'aide de l'amplifier ou plus simplement à l'aide de l'objectif n'est pas à recommander, car il faut alors modifier l'éclairage d'après l'aspect de l'image projetée, image qui ne ressemble plus à ce qu'elle était à l'observation oculaire. Avec l'oculaire à projection, au contraire, l'image qui se forme sur la glace dépolie n'est pas celle formée par l'objectif au moyen des rayons obliques; c'est une seconde image de la première, projetée directement suivant l'axe, par le système projecteur de l'oculaire à projection. Si donc l'image est bonne à l'observation oculaire, elle le sera aussi en projection.

Ce n'est pas à dire qu'il soit impossible de projeter directement par l'objectif l'image de l'objet, mais alors il faut, le plus souvent, se livrer à des manipulations longues et fastidieuses pour obtenir une image bien éclairée. Woodward (dont les belles microphotographies sont toujours des modèles) opérait en se servant d'appareils installés, comme l'indique le schéma suivant :



Les rayons solaires traversaient les diaphragmes, puis la cuvette renfermant la solution destinée à donner une lumière monochromatique; au sortir de la cuvette les rayons solaires étaient condensés par un objectif photographique de trois pouces d'ouverture; ils arrivaient sur la préparation par l'intermédiaire d'un prisme de verre taillé à 45°, ayant environ 0m01 de hauteur et dont l'hypothénuse avait environ 0m008. L'une des faces rectangulaires était reliée à la face inférieure du porte-objet par une goutte d'essence de cèdre ou d'un liquide ayant le même indice de réfraction que le verre.

Lorsqu'on emploie un éclairage assez oblique pour que les rayons ne puissent entrer dans l'objectif, on obtient l'éclairage appelé à *fond noir*. On peut réaliser cet éclairage de diverses manières : l'une des plus pratiques consiste à munir le condensateur d'un diaphragme annulaire spécial qui élimine tous les rayons qui pourraient pénétrer dans le champ et l'éclairer; mais l'objet est vivement éclairé, il rayonne et il se forme une image sur le fond noir analogue à celle que donnent les corps opaques éclairés par-dessus. On peut aussi employer pour le même objet le *parabolöïde* des constructeurs anglais, l'appareil d'éclairage à fond noir de Nachet, etc. Si l'on se sert d'objectifs à immersion et que l'objet soit monté sur le porte-objet (et non sur le couvre-objet) on se servira du *reflex illuminator de Wenham*, instrument fondé sur l'utilisation de l'angle limite de réflexion et qui permet d'obtenir d'excellents résultats.

900. Emploi de la lumière polarisée. — Les applications les plus intéressantes de la lumière polarisée à la photomicrographie ont pour objet la pétrographie et l'étude des différentes espèces de fécules, dont les aspects peuvent être parfaitement indiqués par la photographie. Les appareils de polarisation que l'on emploie consistent en un polariseur qui se place sous le condensateur et un analyseur que l'on place au-dessus de l'objectif.

On règle d'abord la lumière comme s'il s'agissait d'opérer en lumière ordinaire, puis on met en place le polariseur et l'analyseur sur l'objectif : il y a avantage à rapprocher le plus possible l'analyseur de la surface postérieure de l'objectif. On se servira d'un éclairage aussi intense que possible (lumière solaire) et on donnera au polariseur la dimension la plus grande que comporte l'appareil.

La photomicrographie en lumière polarisée ne présente pas plus de difficultés que celle des objets éclairés directement; elle exige seulement l'emploi de plaques orthochromatiques si l'on veut reproduire avec fidélité les variations de teintes que prennent les coupes minces de roches examinées sous cette lumière. Il est bon pour ce genre de travail de se servir d'un microscope disposé spécialement pour cet objet. Nachet a établi un excellent modèle plus ou moins bien imité par différents constructeurs et dont l'emploi facilitera singulièrement ce genre de recherche.

Lorsque les sections principales du polariseur et de l'analyseur font un angle droit, toute lumière est éteinte et le champ du microscope paraît obscur : on obtient ainsi une sorte d'éclairage à fond noir pour les objets qui polarisent la lumière; on peut ainsi photographier assez facilement les spicules calcaires des spongiaires et des polypiers, qui se dessinent souvent plus nettement sur un fond obscur que sur un fond lumineux; la reproduction de certains détails des coupes minces de roches et de quelques minéraux pourra être faite facilement par ce moyen.

901. Microspectrophotographie. — Il est souvent important de pho-

tographier le spectre d'absorption de certaines substances dont on n'a que de petites quantités; on se sert pour cet objet du microspectroscope. Zeiss[1], a donné les indications suivantes sur le spectroscope spécial qu'il a construit pour cet usage.

Les deux lentilles oculaires du microspectroscope ordinaires sont remplacées par celles d'un oculaire à projection nº 2. L'appareil ainsi modifié est mis à la place de l'oculaire à projection ordinaire après que l'image de l'objet dont on doit prendre le spectre a été projeté sur la plaque. On supprime alors le prisme d'Amici qui fait partie du microspectroscope, et l'on projette sur la plaque une image nette de la fente au moyen de l'objectif antérieur de projection. L'image de l'objet se trouve alors également nette dans l'image de la fente, dont on règle la longueur et la largeur de manière à ce qu'elle encadre l'objet. On replace alors le prisme d'Amici devant la lentille oculaire qui ne reçoit plus de lumière que celle de l'objet dont on veut étudier le spectre. Ce genre de microphotographie exige l'emploi de la lumière solaire. Si l'on n'utilise pas les oculaires à projection, on se servira d'un objectif photographique que l'on fixera à la chambre noire et que l'on amènera devant la lentille de champ de l'oculaire. Cette lentille et l'objectif photographique constituent un système optique fonctionnant de la même manière qu'un oculaire de projection.

902. Images stéréoscopiques. — On construit des microscopes binoculaires qui permettent d'observer les objets dans les conditions de la vision oculaire, et par suite d'éprouver la sensation du relief. Il est clair que si l'on place une chambre noire aux deux extrémités des tubes du microscope, on obtiendra deux épreuves qui, réunies dans le stéréoscope, montreront l'objet avec tout son relief. Ce mode opératoire n'est pas pratique, parce que dans certains systèmes de microscopes binoculaires les deux images ne se forment pas à la même hauteur dans les deux tubes, à cause du chemin parcouru à la sortie de l'objectif. On corrige pour l'observation cette inégalité de longueur par l'emploi de deux oculaires d'une puissance différente, qui ramènent à des dimensions identiques les images perçues dans les deux yeux. On pourrait bien adapter aux tubes stéréoscopiques (*fig. 673*) deux oculaires à projection différents, mais le règlage de l'appareil serait fort difficile.

Moitessier[2] a proposé de produire les deux images de l'objet avec les deux moitiés d'un même objectif : ces deux portions, agissant d'une manière tout à fait indépendante, voient l'objet sous deux angles différents; de là, la sensation du relief ou du creux produite par la vision simultanée des deux images. Pour obtenir des épreuves réalisant ces conditions, lorsqu'on opère avec un objectif de faible pouvoir, il suffit de placer contre la lentille postérieure de l'objectif un demi-diaphragme de papier noir et de dévisser l'objectif d'un demi-tour pour lui faire occuper les deux positions indiquées; ce moyen change un peu la mise au foyer, qui devra être rétablie après chaque manœuvre. La position du demi-diaphragme, relativement à

1. *Special Catalog.*, p. 49.
2. *La Photographie appliquée aux recherches micrographiques*, pp 151, 153.

la plaque sensible, est loin d'être indifférente ; elle doit être telle que la ligne qui partage l'objectif en deux portions égales coïncide avec l'axe vertical des images que l'on veut obtenir ; les épreuves doivent être orientées de manière à satisfaire à cette exigence.

Ces divers moyens ne réussissent pas s'il s'agit de photographier des objets transparents. Moitessier a reconnu que les images de l'objet produites par l'objectif dans ses diverses positions se trouvent éclairées dans des direc-

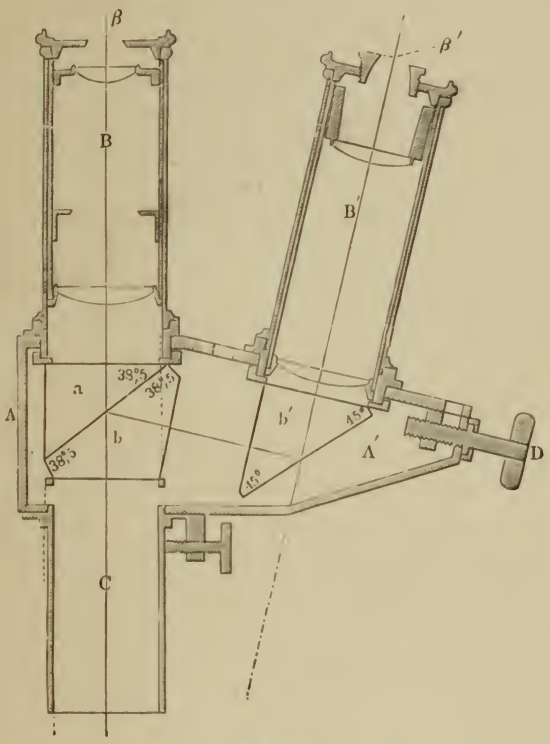


Fig. 673.

tions souvent complètement opposées, de sorte que leur superposition par le stéréoscope donne lieu à des effets que l'œil ne peut comprendre et qui détruisent d'une manière plus ou moins complète la sensation du relief; cependant ce relief apparaît si au lieu d'éclairer l'objet par la lumière centrale on se sert d'un éclairage légèrement oblique.

On peut opérer, comme nous l'avons indiqué pour la photographie stéréoscopique d'un objet quelconque en se servant d'un seul objectif que l'on amène dans deux positions différentes par rapport à l'objet. En photomicrographie, il est plus simple de déplacer l'objet, l'objectif

restant fixe ; on obtient évidemment le même résultat. C'est sur ce principe que Moitessier a basé la construction de la *bascule stéréoscopique*. Ce petit appareil se compose essentiellement d'une plaque fixée sur la platine du microscope et pouvant recevoir dans les deux sens une inclinaison de 7 à 8°. Certains microscopes, par exemple ceux construits sur le type du Centennial de Zentmayer, ont la platine mobile autour d'un axe passant par son plan ; il suffit de la déplacer légèrement autour de cet axe pour obtenir tous les effets de la bascule stéréoscopique. Le grand modèle de microscope de R. et J. Beck possède ce dispositif ; de plus, une graduation permet de mesurer l'angle dont la platine a tourné, ce qui est précieux pour étudier certaines formes de foraminifères ou de diatomées, et ce dispositif remplace avantageusement la bascule stéréoscopique de M. Moitessier, accessoire qui peut d'ailleurs être adapté à tous les microscopes. Pour que la bascule stéréoscopique fonctionne d'une manière régulière, il faut que l'axe de rotation coïncide avec la surface de l'objet à reproduire ; sans cette précaution, l'objet se déplacerait par le mouvement de la bascule, il arriverait même qu'il pourrait sortir du champ, toute opération deviendrait alors impossible.

L'amplitude du mouvement angulaire que l'on imprimera à l'objet n'est pas indifférente. Un angle total de 7 à 8° environ est celui qui paraît le plus convenable comme moyenne ; les épreuves obtenues dans ces conditions donnent la sensation d'un relief très suffisant sans être exagéré. La grandeur de l'angle ne doit pas d'ailleurs être la même pour tous les objectifs[1] ; elle doit être d'autant plus faible que l'angle d'ouverture de l'objectif est plus considérable. Si l'on se sert d'un objectif à angle d'ouverture très faible, on pourra faire varier l'angle de 12°.

La mise au point se fait sur la partie la plus importante de la préparation. On s'assure que ce point coïncide avec l'axe de rotation de l'objet, on déplace ce dernier jusqu'à ce que le point qui se trouve au centre du champ paraisse immobile pendant le mouvement de la bascule. Pour obtenir deux épreuves satisfaisantes quant à leurs dimensions, il est indispensable d'effectuer la seconde mise au point sur la même partie de l'objet que la première ; si l'on n'observait pas cette précaution, les images ne se superposeraient pas dans le stéréoscope.

Un des inconvénients que possède la bascule stéréoscopique réside

1. Moitessier, *loc. cit.*, p. 159.

en ce que l'objet se présente à l'objectif d'une façon assez oblique ; il est donc difficile de mettre simultanément au foyer divers points de sa surface.

Les négatifs seront faits successivement sur la même plaque, s'il est possible, et en donnant exactement le même temps de pose à chaque image. On observera pour le montage des épreuves les prescriptions que nous avons indiquées pour les images stéréoscopiques ordinaires.

903. Procédés divers. — H. Vogel [1] s'est servi de la chambre noire munie de son objectif pour obtenir des images d'objets microscopiques. L'objet placé sur le microscope étant convenablement éclairé et mis au point, il approche de l'oculaire une petite chambre noire munie d'un objectif simple d'environ 0^m108 de foyer ; il place les deux instruments de telle sorte que la coïncidence de leurs axes optiques soit parfaite et que l'objectif de la chambre noire soit presque en contact avec l'oculaire du microscope ; sans toucher au microscope, on met au point sur la glace dépolie, et l'on obtient ainsi une bonne projection d'image. Fayel [2] s'est servi simultanément de l'oculaire du microscope et de l'objectif photographique ; ce moyen lui a fourni de bons résultats. Il n'y a plus à toucher au microscope lorsque l'éclairage de l'objet a été fait. Les épreuves sont encore meilleures si, après avoir mis au point, on devisse le verre de l'œil de l'oculaire et on ne laisse que le verre de champ ; on approche plus ou moins de ce verre la chambre noire munie d'un petit objectif aplanétique ; on rentre alors dans le cas des oculaires à projection. L'image recueillie par l'objectif aplanétique est exactement la même que celle que l'on observait avec le verre de l'œil.

Un autre procédé consiste à employer l'objectif photographique et l'objectif microscopique sans se servir d'un oculaire. Remarquons que si après avoir mis au point à la façon ordinaire on enlève l'oculaire, il existera quelque part, près de l'orifice du tube, une image aérienne de l'objet [3]. Si on approche alors du tube une chambre noire ordinaire munie de son objectif, ce dernier pourra reprendre cette image aérienne et en donner une deuxième image agrandie sur la plaque sensible, pourvu que la distance de l'objectif photographique à cette image soit plus grande que la distance focale principale de cet objectif.

Ces divers moyens, dont le meilleur est celui qui consiste à se servir du verre de champ en supprimant le verre de l'œil, présentent tous un défaut commun qui provient de la difficulté qu'il y a de bien centrer ces systèmes optiques montés sur des appareils différents qui doivent présenter le maximum de stabilité ; c'est pour ce motif que l'emploi des oculaires de projection doit leur être préféré.

904. Opérations photographiques. — Lorsque la mise au point sur la glace du châssis est faite avec soin, on n'a plus qu'à effec-

1. *Phot. Archiv.*, 1863.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1876, p. 198.
3. *Ibid.*, 1881, p. 85.

tuer les opérations photographiques, qui ne présentent rien de particulier et qui peuvent être faites par un opérateur quelconque. La première mise au point peut être singulièrement facilitée en donnant à la glace dépolie un mouvement rapide de translation dans son plan[1]. La dernière mise au point doit être faite à la loupe, la glace étant placée dans le châssis même qui servira à renfermer la plaque sensible ; on évite ainsi les différences qui pourraient provenir des défauts de construction des châssis.

Lorsque l'on a mis en place la glace sensible dans la chambre noire, on place un écran opaque, tel qu'un carton noir, sur le trajet des rayons lumineux avant leur entrée dans le condensateur. Cet écran opaque peut fort bien être un obturateur à volet, porté sur un support indépendant du banc optique ; on ouvre alors le volet du châssis contenant la plaque sensible. Cette opération doit être faite délicatement, de manière à ne pas ébranler les appareils. Quelque soins que l'on prenne, on fait osciller involontairement le système, surtout lorsque la projection se fait à longue distance ; on attend que ces oscillations aient cessé et l'on donne alors accès à la lumière. Le temps nécessaire à la pose ne saurait être indiqué avec précision ; il dépend de la qualité et de la quantité de la lumière, de sa distance à l'objet, — du genre de condensateur, son foyer, son ouverture et sa position, — de l'épaisseur, la nature et la couleur de l'objet, de l'objectif et de l'oculaire employé, du degré de sensibilité de la plaque, de la nature et de l'énergie du développateur, etc. Ces éléments sont tellement variables qu'on ne peut rien préciser ; le mieux est de juger par comparaison l'image projetée sur la glace dépolie et celle d'un objet connu. On fait alors des essais sur une même plaque en employant un châssis analogue au multiplicateur, et, après développement des images, on choisit celle qui a reçu le temps de pose le plus convenable.

905. Réglage des appareils. — Quelle que soit la perfection avec laquelle est fait le réglage des divers appareils microphotographiques, le centrage est fatalement destiné à se déranger ; l'on devra donc choisir des appareils qui permettent de rectifier facilement ce centrage. Les grands modèles de microscopes des bons constructeurs possèdent en général des dispositifs qui permettent d'atteindre ce but.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, pp. 213, 285, 312.

L'axe du microscope doit se confondre avec celui de la chambre noire, ou du moins être perpendiculaire au plan de la glace dépolie.

On prendra l'axe de la chambre noire comme axe fixe, dans le cas d'un appareil horizontal. A l'aide d'un niveau d'eau, on s'assure de l'horizontalité de l'appareil. Le microscope est placé sur un trépied à vis calante, qui permet de faire coïncider son axe avec celui de la chambre noire; on s'assure alors que les tubes placés à l'avant de la chambre ne touchent pas le microscope. La chambre noire est alors ramenée en arrière, ou bien le microscope et le banc optique sont éloignés de l'appareil photographique.

Le microscope est alors muni d'un oculaire et d'un objectif faible; on met au point la préparation, le condensateur est mis en place, centré, puis mis au point sur la préparation; à l'aide de l'objectif fort qui doit servir, on vérifie si ce centrage est exactement fait; on centre les diverses pièces du banc optique après avoir réglé l'héliostat ou la source de lumière employée.

On vérifie l'exactitude de ce centrage en enlevant toutes les lentilles de l'appareil; les rayons lumineux traversent les diaphragmes, les ouvertures du tube, et viennent peindre un disque brillant au centre de la glace dépolie.

Ces diverses opérations du réglage de l'appareil sont assez longues, mais elles sont indispensables, surtout si l'on n'emploie pas les oculaires à projection; elles ont pour but d'obtenir un bon éclairage, parce que c'est l'éclairage qui permet d'obtenir de bonnes ou de mauvaises microphotographies. On a pu écrire, en parlant de l'éclairage en général : « lorsque le modèle est éclairé, le tableau est dessiné [1] ». Ce qui est vrai pour le portrait est encore plus vrai pour la microphotographie, et il ne faut généralement pas chercher ailleurs que dans un mauvais éclairage presque toutes les causes d'insuccès qui peuvent se présenter; presque toujours un mauvais éclairage provient soit d'un excès de lumière, soit du centrage défectueux des appareils.

Le procédé photographique à employer dépend du genre d'images que l'on veut obtenir. Les plaques au gélatino-bromure sont suffisantes si l'image ne doit pas être fortement agrandie ultérieurement. Ce procédé, recommandé par Berwick [2], lui a permis d'obtenir de bonnes photomicrographies à la lumière du gaz. Les plaques au gélatino-bromure sont extrêmement rapides, mais la finesse des images

1. Robinson, *Atelier du photographe*, p. 42.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1880, p. 200.

qu'elles fournissent diminue avec rapidité; lors donc qu'on voudra des images très nettes on se servira de plaques relativement peu sensibles, mais dont la rapidité est cependant supérieure à celle du collodion humide.

Lorsque les photomicrographies sont faites avec les appareils à petites épreuves et qu'elles sont destinées à être amplifiées, il faut se servir soit du procédé au collodion humide, soit du procédé à l'albumine ou au collodion albuminé. Le collodion humide a été surtout employé par de Brébisson, Ravet, Moitessier, etc. Woodward[1] a obtenu par ce procédé de magnifiques photomicrographies : il se servait soit de la lumière électrique, soit de l'éclairage oxhydrique ou de celui au magnésium.

Pour certaines préparations, on se servira avec avantage des procédés orthochromatiques; c'est aux préparations de cette nature qu'il convient d'avoir recours quand on photographie en lumière monochromatique jaune. On se servira avec avantage de l'émulsion au collodion (**475**) qui, tout en donnant des plaques presque aussi sensibles que celles au gélatino-bromure, permet d'obtenir des images beaucoup plus fines; on reconnaît facilement cette différence de netteté lorsqu'on amplifie l'image obtenue à l'aide d'un appareil à petites épreuves.

Il est, d'ailleurs, à peu près inutile de dépasser pour le format des épreuves la dimension de $0^m13 \times 0^m18$; c'est la dimension que présente l'appareil construit par Zeiss sur les indications de Francotte (*fig. 674*). Seibert et Krafft ont construit un appareil (*fig. 675*) à long tirage et qui permet d'obtenir directement des épreuves de 0^m15 de diamètre ; ce sont là les dimensions les plus usuelles. Le plus souvent même on se contente d'images n'ayant pas plus de 0^m08 de diamètre ; les négatifs ainsi obtenus se prêtent très facilement aux projections. Si ces négatifs sont faits à l'albumine ou au collodion, ils peuvent supporter telle amplification que l'on pourra pratiquement désirer; en réalité, ces amplifications n'apprennent rien de plus, et, depuis que l'on connaît mieux la théorie du microscope, la question du grossissement a perdu presque toute l'importance que l'on y attachait autrefois. On demande maintenant au microscope et à la microphotographie de montrer fidèlement les fins détails d'un objet sans trop se préoccuper du grossissement sous lequel on les aperçoit.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1878, pp. 102 et 108.

906. Grossissement. — Dans quelques cas particuliers, il est utile de mesurer le grossissement de l'objet photographié. On effectuera cette mesure

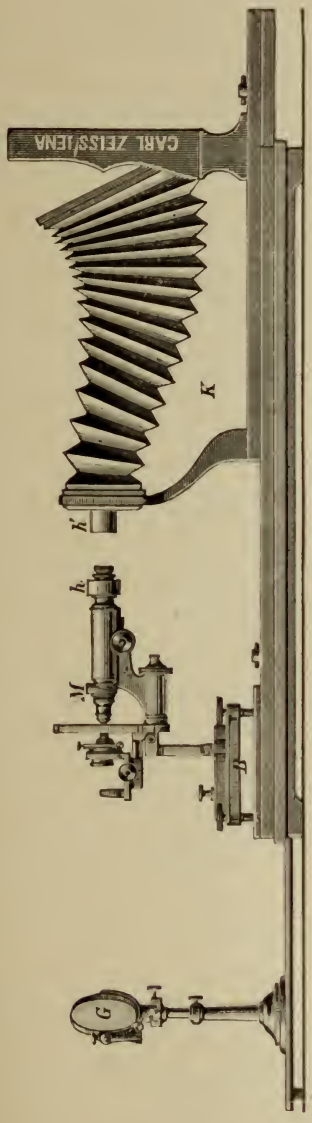


Fig. 674.

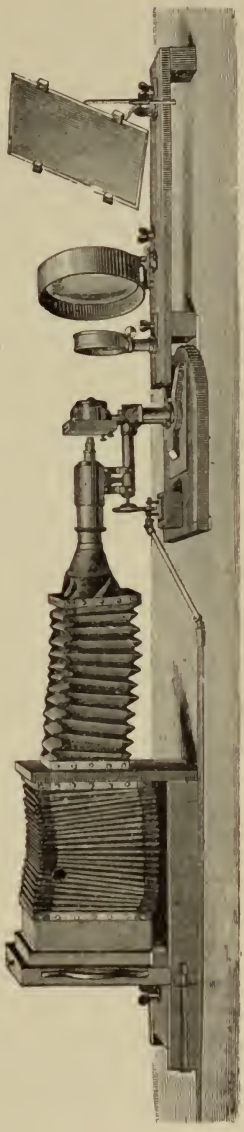


Fig. 675.

avec l'objectif qui a été employé à former l'image; on l'utilisera dans des conditions identiques à celles qui ont servi à projeter l'image, et on projettera sur la glace dépolie l'image d'un micromètre formé par un millimètre divisé

en 100 parties égales ; avec un double décimètre, on mesurera la longueur de 10 divisions de l'image du micromètre ; on multipliera par 10 cette longueur exprimée en millimètres. Supposons, par exemple, que 10 divisions occupent sur la glace dépolie 51 millimètres, le grossissement obtenu sera 510 fois. On peut aussi tracer sur une bande de papier les divisions projetées par l'objectif et se servir de cette échelle pour les mesures à prendre sur l'objet ; chaque division de l'échelle vaut un centième de millimètre.

En se servant d'une chambre noire dont la base est graduée, on peut repérer exactement la position de la glace dépolie correspondant à un grossissement donné qu'il est ensuite facile de retrouver (pourvu que l'on se serve du même objectif) ; on peut ainsi, lorsque l'on a à faire une série d'épreuves devant présenter la même amplification, abréger beaucoup le travail.

Lorsque l'on emploie un objectif à immersion homogène, le maniement du micromètre est assez ennuyeux ; on peut, si l'on se contente d'une appréciation du grossissement, se passer du micromètre, mais il faut alors connaître la distance focale de l'objectif dans les conditions de l'expérience (la distance focale des objectifs à correction varie avec la position de l'anneau de correction). On peut arriver à connaître très approximativement cette distance focale par la méthode de M. Cornu ou bien la calculer.

Désignons par p la distance du point nodal d'émergence de l'objectif à l'objet, par P la distance de ce même point à la glace dépolie ; soit n un certain nombre de centièmes de millimètres qui, pour un certain tirage de la chambre noire, occupe la longueur N sur la glace dépolie, on a :

$$\frac{N}{n} = \frac{P}{p} \quad \text{ou bien} \quad \frac{N+n}{n} = \frac{P+p}{p}.$$

Mais $P + p$ n'est autre que la distance D du plan de l'objet à celui de la glace dépolie ; or, pour D suffisamment grand, p sera très voisin du foyer, et nous aurons :

$$\frac{N+n}{n} = \frac{D}{f} \quad \text{d'où} \quad f = D\frac{n}{N+n} = D\frac{n}{N};$$

car n peut être négligé par rapport à N. Si on connaît f et que l'image soit directement projetée par l'objectif

$$G = \frac{N}{n} = \frac{P}{p} = \frac{P}{f},$$

il suffira alors de mesurer la distance P comprise depuis la glace dépolie jusqu'à la surface postérieure de la lentille : on commet ainsi une erreur, mais qui n'est pas très importante dans une mesure approchée.

Si l'on se sert d'un oculaire à projection, le plan focal postérieur du système se transporte à la surface postérieure de la lentille projectrice et le foyer est divisé par le numéro ν de l'oculaire ; le foyer devient $\varphi = \frac{f}{\nu}$ (ν étant le numéro de l'oculaire) ; le grossissement sera $G = \frac{P'}{\varphi} = \frac{\nu P'}{f}$, P′ étant

mesuré à partir de l'oculaire, f étant exactement connu, et P, f, étant exprimés en millimètres.

907. Agrandissement de l'image. — Nous avons vu que les appareils à petites épreuves nécessitaient l'agrandissement ultérieur de l'image obtenue ; on pourra évidemment se servir pour cet objet de grands appareils. Van Heurck[1] s'est servi d'une toute petite chambre noire à peu près cubique de 0m05 à 0m06 de côté, posée sur le tube du microscope à la façon d'un oculaire et muni intérieurement d'une lentille correctrice. Ce procédé donne de bons résultats si la chambre noire est légère et si le microscope est d'une rigidité parfaite. Le grand modèle *Radial arm* de Ross, et le grand microscope renversé de Nachet répondent fort bien à ce but ; ce dernier est surtout remarquable par le peu d'influence que les vibrations exercent sur lui. On peut opérer avec une amplification initiale de 1.000 à 1.500 fois ; il suffit alors d'agrandir l'image à 4 ou 5 diamètres avec un objectif photographique ordinaire. Les plaques au gélatino-bromure d'argent fournissent d'assez bons résultats si l'on ne dépasse pas cette amplification.

Tous les appareils ne permettent pas de produire un petit négatif avec une amplification aussi considérable. Très souvent le grossissement ne dépassera pas 60 à 120 diamètres ; dans ce cas, il faudra opérer soit au collodion, soit à l'albumine, et l'image obtenue sera agrandie à l'aide des objectifs spéciaux de Zeiss ou d'Hartnack (**897**). Pour l'agrandissement du petit négatif, on emploiera avec avantage le dispositif recommandé par Zeiss lorsqu'il s'agit d'obtenir à une faible amplification l'image d'un objet transparent. L'objet est éclairé à l'aide d'une glace dépolie (*fig. 676*) sur laquelle on projette l'image de la source lumineuse ; cette image est reprise par une lentille qui projette sur la préparation un cône lumineux : le sommet de ce cône doit se trouver au centre de la combinaison optique employée qui, le plus souvent, est un petit aplanat de 0m70 de foyer, monté directement sur la chambre noire. La lentille que l'on emploie pour condenser la lumière est une lentille simple à paysages, d'assez grand diamètre, dont le côté concave doit être tourné vers la préparation. On peut aussi employer tel objectif que l'on voudra, pourvu qu'il soit lumineux et exempt d'aberration sphérique *suivant l'axe*. Pour déter-

1. *Bulletin de la Société belge de microscopie*, XIII, p. 6, et *British Journal of Photography*, 13 août 1886.

miner en quel point de l'objectif d'agrandissement doit être projetée par la lentille condensatrice l'image de la source lumineuse, on opère de la manière suivante : soit un aplanat fixé sur la chambre noire, on dévisse la lentille antérieure sans changer de place l'objectif, et dans la fente du diaphragme on introduit un petit carton blanc formant écran; c'est sur cet écran que doit venir se peindre nettement l'image de la source lumineuse. On fait cette mise au point de la lentille condensatrice après que l'on a mis au point l'image à agrandir.

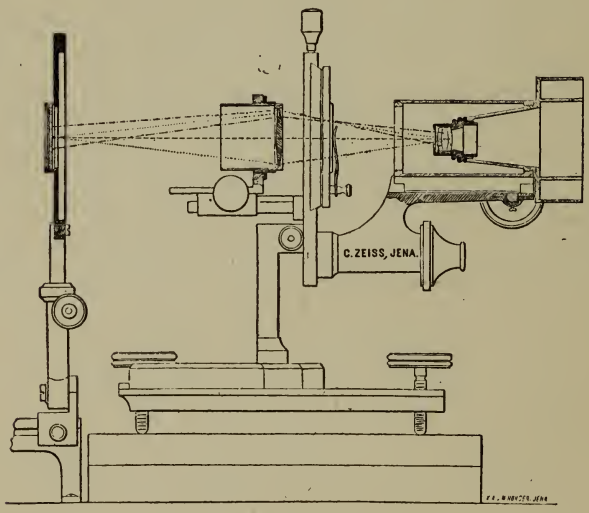


Fig. 676.

Le cône des rayons lumineux doit présenter dans le plan du diaphragme une section aussi petite que possible, afin que les rayons puissent traverser librement l'objectif amplificateur (**817**); il faut de plus que la section de ce cône par le plan du porte-objet (ou du petit négatif) soit assez grande pour éclairer l'objet; elle ne doit pas être trop grande, sans quoi il y a une certaine quantité de lumière perdue et la pose est prolongée en pure perte. On atteint ces résultats en approchant ou éloignant le condensateur de la source de lumière et en se servant de divers objectifs à foyer plus ou moins long. L'objectif n° 1 de Nachet, les objectifs anglais de 4, 3 et 2 pouces, l'objectif **a*** de Zeiss, peuvent être employés lorsque l'image à agrandir ne présente pas une trop grande surface, mais ils n'ont pas un champ

aussi plan que les instruments spécialement construits pour la microphotographie.

908. Choix des préparations à photographier. — Presque toutes les préparations obtenues en micrographie sont susceptibles de donner de bons résultats lorsqu'on les photographie. Elles doivent cependant présenter certaines propriétés si ce sont des coupes d'objets anatomiques : il faut qu'elles soient assez minces pour ne contenir pour ainsi dire qu'une couche de cellules; leur coloration doit être convenable pour bien différencier les divers tissus. Hoggan a indiqué le procédé suivant pour teinter les préparations microscopiques de sujets histologiques, de façon à pouvoir les photographier [1]. On prépare d'abord une solution aqueuse ou alcoolique de perchlorure de fer et une solution aqueuse ou alcoolique d'acide pyrogallique. Les solutions alcooliques sont les meilleures; ces deux solutions doivent être à 1 ou 2 %. Les coupes des tissus à colorer sont d'abord plongées pendant une ou deux minutes dans l'alcool, puis on verse à leur surface la solution de perchlorure de fer bien filtrée qu'on laisse séjourner pendant environ deux minutes; après avoir rejeté le perchlorure de fer, on le remplace par l'acide pyrogallique bien filtré, et au bout d'une ou deux minutes on a la coloration nécessaire. On lave et on monte la préparation, soit à la glycérine, soit au baume, soit au vernis. Les nucléus apparaissent colorés en noir dans les cellules plus ou moins teintées; si l'eau de lavage est alcaline, la teinte deviendra bleuâtre, ce qui la rendra encore plus photographique.

Thurston [2] a recommandé pour les colorations des bactéries une solution saturée de vésuvine ou de brun Bismark; on lave à l'eau, puis avec une dissolution à 1 % d'acide acétique.

Ces diverses colorations ont été fort utiles lorsque l'on employait le procédé au collodion humide et que l'on ne se servait pas de glaces orthochromatiques. On peut actuellement photographier toutes les préparations usuelles en employant dans la couche sensible une matière colorante convenable.

Les préparations montées au baume sont en général très transparentes; on se servira de préparations de cette nature lorsque l'objet par lui-même sera assez opaque.

909. Projection des photomicrographies. — A. et L. Lumière [3] ont fait remarquer que les images positives destinées aux projections et représentant des objets microscopiques ne possèdent pas en général la couleur de la préparation qui a servi à les obtenir. On peut reproduire ces couleurs en imprimant d'abord l'image par le procédé au charbon sur un papier qui renferme peu de matière colorante; on dépouille l'image après avoir reporté la mixtion colorée sur un verre dépoli, on lave l'épreuve à l'eau froide, puis on l'immerge pendant dix minutes dans l'alcool et on la laisse sécher. L'image obtenue doit être faible; dans certains cas elle sera peu visible. Pour la

1. *Phot. News*, 1877, et *Bulletin de la Société française de photographie*, 1877, p. 143.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1890.
3. *Ibid.*

colorer, on prépare des solutions aqueuses des couleurs employées en micrographie ou de celles qui s'en rapprochent, telles que le violet et le bleu de méthyle, le violet de gentiane, le bleu coton, le rouge de Magenta, le nacarat, la safranine diméthylée, le vert malachite, etc., on dissout ces matières à la dose de 1 gramme dans 100 ou 500 c. c. d'eau, suivant la solubilité et le pouvoir colorant de la substance.

La solution choisie pour colorer la positive est versée sur l'image : en quelques secondes, le liquide a pénétré la gélatine, qui fixe énergiquement la couleur; on lave ensuite à l'eau, qui enlève rapidement l'excès de matière colorante. Quand le lavage à l'eau est insuffisant, on traite par l'alcool; la décoloration s'effectue beaucoup plus rapidement qu'en employant l'eau.

Pour obtenir les colorations doubles que l'on remarque dans certaines préparations microscopiques, par exemple celles de bacilles, dans lesquelles le fond est bleu et le bacille coloré en rouge, on traite d'abord la positive par une teinture rouge intense, mais qui ne s'oppose pas à la décoloration partielle ultérieure de l'épreuve. La solution à 1 % de rouge de Magenta se trouve dans ce cas : cette solution colore l'épreuve dans toutes ses parties, et on obtient un fond rouge clair sur lequel l'image des bacilles se détache en rouge foncé. On décolore partiellement d'abord par l'eau, puis par l'alcool si cela est nécessaire. Lorsque le fond commence à perdre sa teinte, on traite de nouveau par la teinture qui doit colorer le fond; on emploie une solution faible de bleu coton à la dose de 1 gramme pour 500 c. c. d'eau.

Il ne reste plus qu'à faire disparaître le grain du verre dépoli; on y parvient en vernissant l'épreuve avec un vernis à froid formé de 5 grammes de gomme Dammar et 5 c. c. de benzine. On peut éviter ce vernissage en remplaçant le verre douci par un verre poli; mais avec ce dernier il peut survenir quelquefois des décollements de la gélatine pendant le développement et le lavage.

§ 4. — APPLICATIONS DIVERSES.

910. Historique. — Les premières images microphotographiques ont été obtenues par Draper, de New-York; elles furent produites par l'emploi du daguerréotype. A peu près à la même époque, Danier à Manchester, Vincent Chevalier et Donné à Paris, obtinrent de bonnes épreuves[1]. Les premières tentatives de Davy en 1802, celles de Rude en 1837 pour fixer les images du microscope solaire ne peuvent être considérées que comme des essais infructueux, les images obtenues s'altérant avec une extrême rapidité. Mayer[2], de Francfort, obtint en 1844 de bonnes microphotographies du *Pleurosigma angulatum* et du *Pleurosigma attenuatum* en se servant d'un appareil vertical à petites épreuves. En 1845, Donné et Foucault publièrent un *Atlas du cours de Microscopie :* les figures étaient gravées d'après des images daguerriennes. De Brébisson, en France, appliqua le premier le procédé au collodion aux épreuves photomicrographiques;

1. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* 1840.
2. Stein, *Das Licht,* II.

Delver[1], en Angleterre, obtint de belles épreuves au collodion; Pohl et Weselsky, à Vienne[2], se servirent d'un appareil vertical à tube coudé, ce qui permettait de placer la chambre noire horizontalement; plus tard, Bertsch, Nachet, Lackerbauer, Moitessier produisirent des images microphotographiques extrêmement remarquables et qui montrent ce que l'on était en droit d'attendre de la micrographie. Gerlach[3], Rood, von Troy, Vogel, Mayer, Reichardt, Pohl, etc., complétèrent ces recherches et imaginèrent de nouvelles méthodes ou perfectionnèrent celles qui existaient. Les plus sérieux résultats furent obtenus en Amérique par Woodward, dont la perfection des épreuves n'a pas été surpassée. Le Dr Curties obtint de très remarquables images par l'emploi du collodion.

C'est un micrographe distingué, le Dr Maddox, qui doit être considéré comme l'un des inventeurs du nouveau procédé au gélatino-bromure, procédé qui révolutionna la photographie. Dès lors, la microphotographie prit un nouvel essor. Le Dr Van Heurck, en Belgique, montra que la microphotographie permettait d'obtenir des détails qu'il était impossible pour l'œil de saisir dans le microscope. Koch, en Allemagne, Roux, en France, produisirent de très belles images de microbes difficiles à voir. Grâce aux théories d'Abbe, de Stéphenson, aux recherches optiques de C. Zeiss, aux études pratiques du Dr R. Zeiss[4], de van Ermengen, de Neuhaus, de Nachet, les appareils se sont perfectionnés et les résultats obtenus sont extrêmement remarquables.

911. Applications de la microphotographie. — Le but de la microphotographie étant de produire une photographie de l'image agrandie d'un objet microscopique, son importance est indiscutable; elle est destinée à être utilisée partout où le microscope est employé. En quelques instants la photographie peut produire un dessin, quelque compliqué qu'il soit et qui aurait demandé de longues heures de travail au plus habile dessinateur; enfin, en reproduisant une préparation sur une plaque transparente, elle permet de mettre sous les yeux d'un nombreux auditoire le sujet même d'une démonstration, ce qu'il serait presque impossible de faire sans cela[5]. A côté de ces avantages, la photographie présente l'inconvénient de ne montrer que les objets situés dans un même plan; les objets qui sont au-dessus ou au-dessous de ce plan, dont les contours ne sont pas nettement visibles, son projetés et représentés ensemble sur la surface photographique. On corrige en partie ce défaut en diaphragmant l'objectif et en se servant de coupes aussi minces que possible; de plus, la photographie reproduit tout ce qui se trouve sur la préparation, aussi bien les corpuscules étrangers que l'objet principal à reproduire; elle exige des préparations spéciales et fort bien réussies.

Cette nécessité d'une préparation suffisamment mince et bien complète constitue le seul inconvénient que présente la microphotographie des prépara-

1. *Quarterly Journaf of Microscopical Science*, 1852.
2. *Repertorium der Photographie*, 4e édit. Vienne, 1854, pp. 28 et 367.
3. *Die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung*, 1863,
4. Voyez *Special Katalog.*, etc., 1888.
5. Trutat, *Traité élémentaire du microscope*, p. 232,

tions histologiques. Ce n'est pas une difficulté provenant de la photographie; c'est au micrographe qu'il appartient de fournir des préparations convenables pour le genre de recherches auxquelles on les destine. L'épaisseur d'une coupe ne présente pas de bien grands inconvénients lorsqu'on fait une observation directe; dans ce cas, en manœuvrant la vis micrométrique du microscope on peut généralement suivre un détail anatomique dans toute l'épaisseur de la couche. On ne peut songer à opérer de même en microphotographie; il faudrait se servir d'un objectif analogue à celui que Claudet (**68**) employait pour les portraits : la netteté serait défectueuse, et si l'on essayait d'agir sur la vis micrométrique, comme l'a proposé un micrographe italien, on obtiendrait une image floue. Pour si mauvaise que soit la photographie obtenue sans toucher à la vis micrométrique, elle sera supérieure à celle que l'on obtiendrait en manœuvrant cette vis. Il n'y a d'exception que lorsque l'on se contente d'images manquant de netteté ou que l'on emploie de très faibles amplifications, auquel cas la profondeur de foyer de l'objectif est généralement suffisante. Dans certains cas, on pourra, comme l'a proposé Zeiss, faire plusieurs vues parallèles de l'objet à différentes profondeurs : on recombine ces images deux à deux par le stéréoscope. Ce moyen est assez compliqué comme exécution; il vaut mieux diaphragmer l'objectif, ou se servir d'un instrument ayant une ouverture numérique aussi faible que possible, puisque pour des objectifs de même construction la profondeur de foyer varie en raison inverse du carré de l'ouverture numérique. On trouve facilement de bons objectifs à petit angle.

Les négatifs de préparations anatomiques se feront sur plaques orthochromatiques, et, avant de faire la mise au point, on interposera sur le trajet des rayons lumineux un verre jaune; par ce moyen on neutralisera l'effet qui serait produit par la couleur rouge qui a servi à teindre la préparation. Les grandes préparations injectées se reproduiront avec facilité par l'emploi de petits objectifs photographiques (aplanats de $0^{m}06$ à $0^{m}10$ de foyer); en diaphragmant, si l'amplification n'est pas trop considérable, on obtiendra de bons résultats. Dans quelques circonstances enfin, il pourra être avantageux d'employer un appareil à petites épreuves (*fig. 677*) recommandé par Moitessier : le petit châssis A se substitue à l'oculaire et l'on utilise la projection directe de l'image; on place en H une cuvette renfermant une solution colorée soit en jaune, soit en vert. Nachet, Bezu et Hauser, Verick et tout récemment E. Leitz, à Wetzlar, et Zeiss, à Iéna, ont construit des appareils spéciaux pour l'obtentiou de petites épreuves.

Les photographies de préparations histologiques ne présentent pas d'autres difficultés que celles que nous avons signalées : épaisseur trop grande ou couleur spéciale de la préparation; on conçoit donc qu'il soit possible de déterminer après l'éclairage de l'objet, si celui-ci est susceptible d'être reproduit par la photographie; ce n'est que très rarement que l'on reconnaîtra l'impossibilité d'obtenir une bonne image si les règles de la technique microscopique ont été bien observées.

Il est quelquefois avantageux pour photographier les préparations histologiques, ou pour d'autres applications, de se servir d'une source de lumière ne contenant pas de rayons ultra-violets : on fera traverser aux rayons lumineux une cuvette contenant une dissolution de 15 grammes d'esculine dans un litre d'eau; ou bien on emploiera un écran coloré que

l'on prépare, d'après Miethe [1], en dissolvant 2 grammes de gélatine dans 15 c. c. d'eau ; après dissolution on mélange ce liquide avec une liqueur contenant 2 grammes de glycérine, 15 c. c. d'eau et 0 gr. 05 d'esculine ; le mélange bien filtré est étendu sur des glaces nettoyées ; on obtient ainsi un écran plus ou moins coloré suivant l'épaisseur de la couche ; on peut remplacer l'esculine par 0 gr. 02 de fluorescéine.

Si l'on emploie les plaques orthochromatiques, on pourra se servir de la poudre-éclair de Röhmann et Galewski [2] ; on la prépare en mélangeant A) 9 gr. 6 de poudre de magnésium avec 13 gr. 8 de perchlorate de potasse sec ; B) 5 gr. 7 de tartrate de baryte sec et 2 gr. 7 de perchlorate de potasse sec.

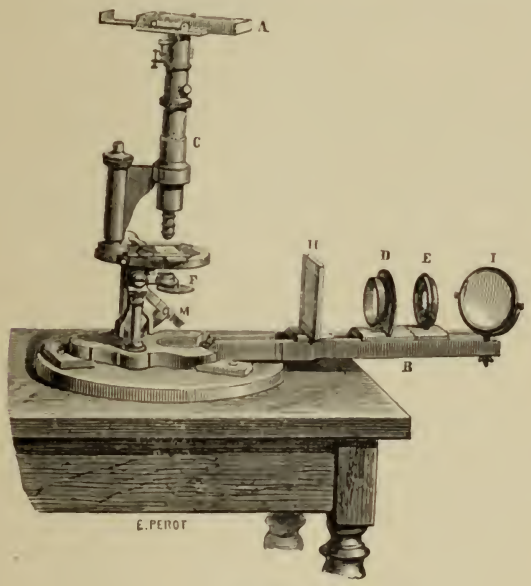


Fig. 677.

On mélange 10 grammes de A avec 1 gramme de B et on ajoute 0gr05 de sel marin desséché. Ce mélange doit être fait avec précaution sur une feuille de papier. Pour l'emploi, on mélange 1 à 3 grammes de cette poudre avec 1 gramme de sucre de lait et 2 grammes de chlorate de potasse. Cette poudre-éclair, *dont le maniement est dangereux*, permet d'obtenir des photographies instantanées entièrement nettes ; le temps de pose est de 1,000 à 1,200 fois plus court que par l'emploi d'une lampe au pétrole ordinaire.

Dans certains cas il y a avantage à employer un mélange brûlant lentement : on se servira alors de l'éclairage indirect, c'est-à-dire qu'on projettera sur une glace dépolie la flamme fournie par la combustion d'un mélange

1. *Phot. Wochenbl.*, 1890, p. 143.
2. Neuhaus, *Lehrbuch der microphotographie*, p. 263.

de 20 grammes de magnésium en poudre, 31 grammes de nitrate de baryte pulvérisé, 4 grammes de fleur de soufre et 7 grammes de suif fondu ; on mélange les trois premières substances et on les incorpore au suif maintenu en fusion au bain-marie [1].

Les préparations *zoologiques* (*acarus, phylloxera, puce,* etc.), sont peut-être les objets les plus faciles à reproduire et ceux qui donnent régulièrement des résultats brillants ; mais il faut se servir de bonnes préparations, très légèrement teintées à l'acide picrique. Les animaux inférieurs, tels que les infusoires, les larves d'oursins, etc., peuvent être photographiés préparés ou vivants ; dans ce dernier cas, on se servira d'un appareil de microphotographie instantanée ou de la poudre-éclair : ces photographies sont, comme toutes les photographies instantanées, difficiles à réussir. Ces sujets seront photographiés à l'aide d'objectifs à petite ouverture ; il en est de même des *foraminifères, polycystines, petites coquilles,* etc. ; de tels objets seront reproduits, soit comme corps opaques, soit en se servant de l'éclairage à fond noir. Les épreuves stéréoscopiques de ces divers sujets sont extrêmement intéressantes lorsqu'elles sont bien réussies ; mais elles nécessitent l'emploi d'objectifs à petite ouverture pour obtenir la profondeur de foyer suffisante. Lorsqu'il s'agira, au contraire, de photographier de fins détails (écailles de *podura,* de *lepisma,* etc.), on opèrera comme s'il s'agissait de photographier des diatomées.

Les préparations *botaniques* (*coupes de plantes, algues, desmidiées, diatomées,* etc.), ne présentent généralement pas de difficulté. Ces préparations constituent des sujets faciles à reproduire, et c'est par les photographies de coupes aussi minces que possible des divers organes de plantes que doit commencer le débutant. Les belles espèces de diatomées (*arachnoïdiscus, triceratium, pleurosigma,* etc.) seront facilement reproduites. Mais si l'on veut photographier celles qui servent de *test-objets,* on se heurte souvent aux plus grandes difficultés qui puissent se présenter en microphotographie ; en effet, les détails si délicats de ces test-objets sont par eux-mêmes difficiles à voir ; il n'est pas toujours aisé d'obtenir l'éclairage nécessaire pour *résoudre* les fines stries qui font la valeur du test ; en un mot, on entasse des difficultés de reproduction sur des difficultés de résolution ; aussi les photomicrographies de diatomées ont-elles été et sont encore aujourd'hui le meilleur moyen de reconnaître la valeur d'un appareil photomicrographique, exactement comme les test-objets permettent de décider le pouvoir résolvant d'un objectif.

Deux moyens permettent cependant de tourner ces difficultés : 1° on se sert de diatomées préparées dans des milieux à indice de réfraction très élevés ; 2° on emploie des objectifs à grande ouverture numérique. La dissolution de phosphore dans le sulfure de carbone (indice = 2,10) a été employée pendant quelque temps ; mais si nous signalons ce liquide, dangereux à manier, c'est pour en déconseiller absolument l'emploi. Le médium de H.-L. Smith (chlorosulfure d'arsenic de composition variable, indice 2,20 à 2,30) est d'un emploi moins dangereux, bien qu'il faille éviter de respirer les vapeurs de ce composé ; il donne d'ailleurs de meilleurs résultats que le phosphore, et la coloration jaune de ce médium est éminemment favorable

1 *Wilson's phot. Magaz.*, 1889, p. 604.

à la mise au point et à la photographie avec les plaques orthochromatiques. Le plus souvent on sera obligé de recourir à l'emploi de la lumière oblique. Le chlorure de zinc, la dissolution d'iodure de mercure dans l'iodure de potassium (indice = 1,68) seront quelquefois employés avec avantage ; enfin, l'on trouve dans le commerce des préparations faites dans le styrax ou dans la naphtaline monobromée (indice = 1,65) qui pourront être employées avec avantages. Les fins détails de diatomées (stries, perles, etc.) sont d'autant plus visibles que la différence entre l'indice de réfraction 1,43 de la valve siliceuse et la substance servant à renfermer cette préparation est plus considérable. Cette différence étant 0,11 pour le baume du Canada (indice = 1,54), on comprend pourquoi les préparations de diatomées sont plus difficiles à résoudre que dans le médium de Smith, où elle peut dépasser 0,60.

OUVERTURE NUMÉRIQUE N. A.	ANGLE D'OUVERTURE DE L'OBJECTIF			POUVOIR RÉSOLVANT THÉORIQUE	
	à sec n = 1.	à immersion dans l'eau n = 1,33.	à immersion homogène n = 1,52.	en lumière centrale.	en lumière oblique.
				Nombre de stries par 10 μ.	
0,15	17°	»	»	6	»
0,20	23°	»	»	7	»
0,25	29°	»	»	10	»
0,30	35°	»	»	11	»
0,35	41°	»	»	12	»
0,40	47°	»	»	13	14
0,45	53°	»	»	14	16
0,50	60°	»	»	15	18
0,55	66°	»	»	16	20
0,60	74°	»	»	17	22
0,65	82°	»	»	18	24
0,70	90°	»	»	19	25
0,75	97°	»	»	20	28
0,80	106°	»	»	21	29
0,85	116°	»	»	22	30
0,90	128°	85°	»	23	33
0,95	144°	91°	»	24	34
1,00	180°	97°	82°	25	36
1,05	»	104°	86°	26	38
1,10	»	112°	92°	27	40
1,15	»	119°	98°	28	41
1,20	»	128°	104°	»	43
1,25	»	140°	113°	29	45
1,30	»	156°	120°	30	47
1,35	»	»	128°	31	50
1,40	»	»	138°	31 — 32	51
1,45	»	»	145°	33	52
1,50	»	»	161°	36	53

L'emploi d'un médium à indice élevé est donc recommandable pour photographier les diatomées difficiles; de plus, on se servira d'objectifs qui puissent théoriquement résoudre par millimètre un nombre de stries plus considérable que celui présenté par l'objet à photographier. Le tableau précédent indique les pouvoirs résolvants théoriques. Il sera facile de se servir d'objectifs qui permettront d'obtenir sans trop de difficultés le résultat cherché; c'est ainsi que lorsqu'il s'agira de photographier en lumière centrale une diatomée présentant 2,900 stries au millimètre, on prendra un objectif à immersion ayant une ouverture numérique d'au moins 1,30. Enfin, dans certains cas, on sera obligé d'avoir recours à la lumière oblique. Zeiss a construit récemment un objectif 1/10e de pouce, ayant une ouverture numérique égale à 1,60. On emploie avec cet objectif la naphtaline monobromée comme liquide d'immersion; c'est avec cet instrument que le Dr Van Heurck a pu photographier les perles de l'amphipleura pellucida [1] (trois mille six cents stries transversales et cinq mille stries longitudinales par millimètre) en employant un éclairage *modérément oblique,* la préparation étant faite dans le médium de Smith (indice = 2,4).

L'éclairage à fond noir permettra de reproduire certains organes de plantes de même que les végétations parasites. L'emploi de la bascule stéréoscopique ou de la platine spéciale de Fritsch fourniront des images qui, montées convenablement, présenteront un relief remarquable lorsqu'on les examinera dans le stéréoscope.

Les applications de la microphotographie à la *géologie* sont assez restreintes et se bornent à la reproduction de quelques fossiles ou parties de fossiles. Il n'en est pas de même de la *minéralogie*, ou, pour mieux dire, de la *pétrographie.* Les coupes minces de roches sont reproduites avec fidélité, et, si ces coupes sont bien exécutées, elles sont assez faciles à photographier sur plaques orthochromatiques. On se servira de la lumière polarisée obtenue à l'aide de prismes aussi larges que possible et l'on placera l'analyseur au-dessus de l'objectif : on pourra alors employer les oculaires à projection sans aucune difficulté et l'éclairage sera suffisamment intense pour que le temps de pose ne soit pas prolongé au point de compromettre la netteté de l'épreuve.

La chimie a tout intérêt à utiliser la microphotographie lorsqu'il faut reproduire l'aspect de cristaux microscopiques ou les spectres de substances dont on ne possède que de très faibles quantités; mais jusqu'à présent ces applications ont été assez restreintes et nullement comparables à celles que l'on rencontre dans les sciences naturelles.

1. *Bulletin de la Société belge de microscopie*, 1889, p. 70.

BIBLIOGRAPHIE.

Beale. *How to work wit the Microscope.*

Behrens, A. Kossel et P. Schiefferdecker, *Das Mikroskop*, 1890.

Behrens (W.). *Numerischen Aperturen und Focaltiefen einiger objective für photographischen Zwecke.* Brunswick, 1887.

Bonsfield (E.-C.). *A Guide to the Science of Photomicrography.* Londres, 1887.

Crookshank. *Photography of Bacteria.* Londres, 1887.

Dippel. *Das Mikroskop und seine Anwendung*, 1883.

Fayel. *Mon microscope photographique.* Caen, 1877.

Francotte (M.-P.). *Manuel de technique microscopique.*

— *La microphotographie appliquée à l'histologie, à l'anatomie comparée et à l'embryologie*, 1887.

Gerlach. *Die Photographie als Hülfsmittel mikroskopischer Forschung*, 1863.

Girard (J.). *La chambre noire et le microscope, Photomicrographie pratique.*

Harting. *Das Mikroskop.*

Hauer (Max). *Grundzüge der Mikrophotographie.* Leipzig, 1876.

Heurck (H. Van). Nombreux articles dans le *Bulletin de la Société belge de microscopie.*

Huberson. *Précis de Photomicrographie*, 1879.

Jennings (J.-H.). *Photo-Micrography or how to photograph microscopic Objects.* New-York, 1886.

Jeserich (P.). *Die Mikrophotographie auf Bromsilbergelatine bei natürlichem und Künstlichem Lichte unter ganz besonderer Berücksichtigung des Kalklichtes.*

Malley. *Microphotography with the best methods of mounting and preparing microscopic objects for microphotography.* Londres, 1883.

Marktanner-Turneretscher. *Die Mikrophotographie als Hilfsmittel naturrissenschaftlicher Forschung.* Halle, 1890.

Moitessier. *La Photographie appliquée aux recherches micrographiques.*

Neuhauss (R.) *Lehrbuch der Mikrophotographie*, 1890.

Pelletan. *Etude sur les microscopes étrangers.*

— *Le microscope.*

Peragallo (H.). *Histoire du microscope composé*, 1884.

— *La Photographie appliquée à l'histoire naturelle* (sous presse).

Pizzighelli. *Handbuch der Photographie fur Amateure und Touristen*, 1887.

Reichardt et Sturemberg. *Lehrbuch der mikrokospischer Photographie.* Leipzig, 1868.

Stein (S. Th.). *Das Licht*, 1887.

Stenglein und Schulz-Hencke. *Anleitung zur Ausführung mikrophotographischer Arbeiten*. Berlin, 1887.

Sternberg (G.-M.). *Photomicrographs and how to make them*. Boston, 1883.

Trutat. *Traité élémentaire du microscope*.

Viallanes. *La Photographie appliquée aux études d'anatomie*, 1886.

Zeiss. *Special-Catalog ueber Apparate fur Mikrophotographie*, 1888.

CHAPITRE II

ASTROPHOTOGRAPHIE.

(Photographie astronomique).

912. Application de la photographie à l'astronomie. — L'introduction de la photographie dans le système des observations modernes constitue un progrès presque comparable à celui qui a été réalisé, il y a deux siècles, par l'application des lunettes aux instruments de mesure[1]. La plaque photographique, cette *rétine du savant*, comme l'a si justement appelée M. Janssen, permet de conserver la représentation exacte des phénomènes astronomiques et d'effectuer la plupart des mesures que comporte l'observation de ces phénomènes.

Les travaux d'un observatoire sont extrêmement variés. La photographie est un auxiliaire précieux pour les observations que l'on peut faire sur les étoiles, les nébuleuses, le Soleil, les planètes, les comètes, la Lune; dans chacune de ces applications, l'image obtenue offre la possibilité d'effectuer des mesures. La photographie permet, en outre, d'obtenir des images du spectre, soit des étoiles, soit du Soleil, soit des nébuleuses. Nous examinerons brièvement chacune de ces applications.

§ 1. — PHOTOGRAPHIE DES ÉTOILES.

913. Confection de la carte du ciel. — La détermination exacte de la position des astres ou l'établissement d'un catalogue d'étoiles constitue certainement la branche la plus ingrate des observations astronomiques, et cependant l'une des plus utiles, car c'est le seul moyen d'obtenir ce que l'on pourrait appeler la *Géographie du*

1. Faye, *Comptes rendus*, 22 septembre 1872.

ciel[1]. La photographie, en fixant sur la plaque sensible la position, à une époque déterminée, de tous les astres que nous pouvons apercevoir, permet d'effectuer rapidement ce dur labeur qui n'aurait pu être fait que par plusieurs générations d'astronomes ; de plus, la photo-

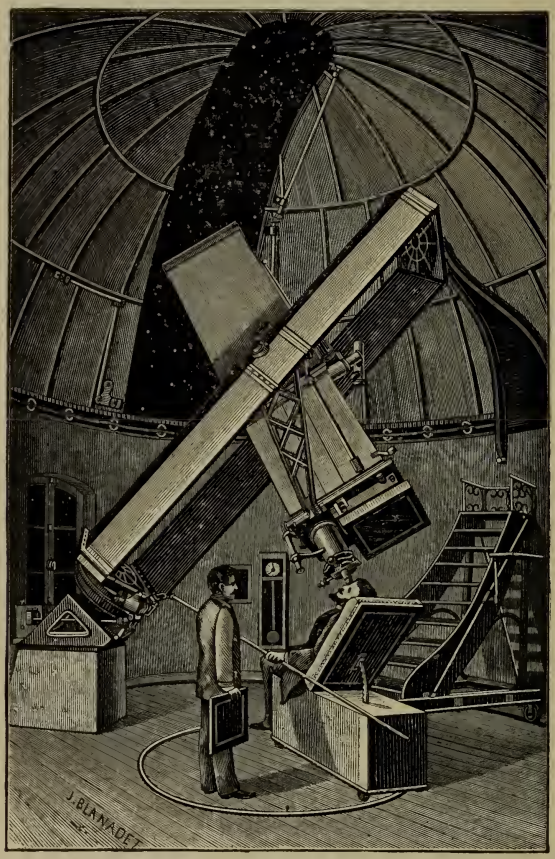


Fig. 678.

graphie permet d'éviter les erreurs et les omissions forcément inséparables de tout travail de cette nature.

La confection de la carte du ciel à l'aide de la photographie a été décidée par les congrès astronomiques de 1887 et 1889. Les principes de la méthode employée sont assez simples : une plaque photogra-

1. Mouchez, *La Photographie astronomique*, 1887, p. 8.

phique est placée au foyer d'un objectif astronomique, monté équatorialement, et dont l'axe est dirigé vers la partie du ciel à photographier; un mouvement d'horlogerie permet de maintenir l'axe de l'objectif et la plaque sensible immobiles par rapport aux étoiles dont il s'agit d'obtenir l'image.

L'appareil construit par M. Gautier consiste (*fig. 678*) dans un tube métallique à section rectangulaire contenant parallèlement le chercheur et la lunette photographique formée d'un objectif de 0^m33 d'ouverture et de 3^m43 de distance focale. Cet objectif est poli par les frères Henry; il est achromatisé pour les rayons chimiques et exempt d'aberration sphérique suivant l'axe. Le tube renferme aussi la lunette-chercheur ou pointeur, destiné à ramener l'astre au même point de la plaque sensible pendant la durée de la pose. La monture équatoriale est du système dit *anglais*, c'est-à-dire que le centre du tube est placé dans l'axe polaire de l'instrument, ce qui permet de suivre un astre dans toute sa course au-dessus de l'horizon sans renversement de la lunette, ce qui est avantageux surtout quand les durées de pose sont un peu longues. Les accessoires de cet instrument sont ceux d'un équatorial ordinaire, à savoir un cercle horaire, un cercle de déclinaison et un mouvement d'horlogerie qui entraîne la lunette pendant trois heures sans avoir besoin d'être remonté; de plus, des mouvements de rappel très lents permettent de maintenir l'axe de la lunette sur un point déterminé du ciel et de rectifier ainsi les irrégularités qui proviennent soit du mouvement d'horlogerie, soit de la réfraction.

La mise au point de l'appareil s'effectue d'abord sur une étoile brillante qu'on examine à l'aide d'une forte loupe préalablement réglée sur les traits gravés sur une glace polie que l'on place dans le châssis à épreuves : on obtient ainsi une mise au point très approchée. La mise au point définitive s'obtient en photographiant cinq ou six fois sur la même plaque une étoile, en mettant la plaque sensible en deçà puis au delà du foyer déterminé à l'aide de la loupe. Si pendant la pose la lunette est immobile, l'étoile laisse sur la plaque différentes traînées lumineuses: on les examine à la loupe, celle qui est la plus nette correspond à la place exacte du foyer. Sous l'influence des variations de température que subit l'équatorial photographique, la position de ce foyer se modifie: il suffit de la déterminer tous les mois, car le changement qui se produit d'un jour à l'autre est généralement négligeable.

La durée de la pose est variable ; elle dépend de plusieurs données, parmi lesquelles les plus importantes sont la grandeur de l'étoile, la nature de l'objectif, celle de la plaque sensible, celle du développateur, la température, etc. MM. Henry ont fait connaître les durées de pose suivantes pour les diverses grandeurs d'étoiles :

Grandeur.	Durée de pose.	Grandeur.	Durée de pose.
1re	0s005	9e	8s
2e	0s01	10e	20s
3e	0s03	11e	50s
4e	0s1	12e	120s
5e	0s2	13e	5m »
6e	0s5	14e	13m »
7e	1s3	15e	33m »
8e	3s0	16e	1h20m »

On voit donc que, toutes choses égales d'ailleurs, le temps de pose augmente à mesure que la grandeur de l'étoile diminue. L'insuffisance de pose se traduira donc par l'absence des étoiles les plus faibles, l'excès de pose donnera au contraire les étoiles les moins visibles, mais en même temps amènera l'élargissement de diamètre des étoiles les plus brillantes.

MM. Henry ont l'habitude de faire poser *trois fois* la même plaque sur la même région du ciel en déplaçant chaque fois la lunette d'une petite quantité, de manière que les trois positions successives de l'étoile forment un petit triangle équilatéral de 3″ à 4″ d'arc de côté. Il devient alors facile de distinguer entre les points noirs qui sont l'image d'une étoile vraie et les taches qui résultent de la préparation du gélatino-bromure ou d'un accident dans le développement ; de plus, la superposition incomplète de trois images offre l'avantage d'augmenter légèrement le diamètre de l'impression produite par les étoiles faibles : l'image est sans cela trop petite pour être visible autrement qu'au microscope. Un autre avantage de ce mode opératoire résulte de ce que, si une petite planète se trouvait dans la région photographiée, la déformation du petit triangle pourrait déceler sa présence, même en un quart d'heure de pose.

Les négatifs de la carte du ciel se font sur glace recouverte d'une couche d'émulsion au gélatino-bromure d'argent. On choisit les émulsions les plus rapides, ce qui permet d'abréger la durée du temps de pose. Mais les émulsions si sensibles sont fournies par un

bromure d'argent grenu, ce qui empêche de produire des agrandissements un peu nets des négatifs ainsi obtenus; de plus, les mesures micrométriques exécutées sur de tels négatifs ne sont pas susceptibles d'une précision aussi grande qu'on pourrait le supposer d'après l'examen de l'image. Sous ce rapport, l'emploi du collodio-bromure serait infiniment plus avantageux.

Le développement s'effectue à l'aide des dissolutions d'oxalate de potasse et de fer. A l'Observatoire de Toulouse, M. Andoyer emploie le bain concentré dont la formule a été indiquée par le Dr Éder (**866**). Le fixage ne présente rien de particulier. Les opérations doivent être conduites de manière à obtenir un négatif brillant, sans trace de voile ni de coloration : il faut que *la couche de gélatine qui reste sur la plaque après le fixage soit aussi transparente que la glace qui lui sert de support,* c'est dire que les manipulations doivent être faites avec soin et que l'opérateur doit être absolument familiarisé avec les travaux photographiques, ce qui est assez rare chez les astronomes; de là, ces négatifs à fond plus ou moins coloré, plus ou moins voilé, malheureusement si fréquents et qui sont la preuve la plus manifeste de l'ignorance des principes de photographie technique. Les demi-teintes ne doivent pas exister dans un négatif représentant des étoiles; la photocopie d'un tel négatif doit être constituée par un fond *très noir,* sur lequel les étoiles se détachent sous forme de petits points *blancs;* il faut, en un mot, que le phototype présente toutes les qualités que l'on réclame d'un bon négatif représentant une fine gravure au burin. Or, ce n'est pas en quelques heures ou en quelques jours, comme on serait tenté de le croire, que l'on peut arriver à produire couramment de tels négatifs, c'est seulement par une assez longue pratique de la photographie que l'on obtient de telles images.

Sur un bon négatif, les étoiles se présentent comme un amas de petits points noirs, très serrés au centre pour les étoiles des dix ou douze premières grandeurs, et de plus en plus clairsemés, mais toujours aussi noirs pour les plus faibles étoiles. Examiné au microscope, on aperçoit au milieu des grains de gélatino-bromure d'argent quelques petits groupes de points, qui sont probablement des astres plus faibles et qui ont incomplètement impressionné la plaque au gélatino-bromure.

914. Mesure des épreuves. — MM. Henry ont fait construire par M. Gautier un *macro-micromètre* destiné à mesurer les épreu-

ves obtenues à l'aide de l'équatorial photographique[1]. L'instrument (*fig. 679*) se compose d'un chariot glissant sur deux rails horizontaux, dont l'un offre une section triangulaire, tandis que l'autre est plat. Ce chariot est entraîné au moyen d'une vis de 0^m25 de longueur, dont le pas est de 0^m001. La distance focale de la lunette photographique étant de 3^m43, la valeur du tour de vis est d'environ $1'$. Le tambour de la vis est divisé en 600 parties, ce qui donne pour la valeur de chaque division $0'',1$, et, comme il est facile d'estimer le $\frac{1}{10}$ de division, les lectures peuvent être faites à $0'',01$ près. Le chariot est, en outre, muni d'une échelle divisée en millimètres, servant à compter les tours de la vis.

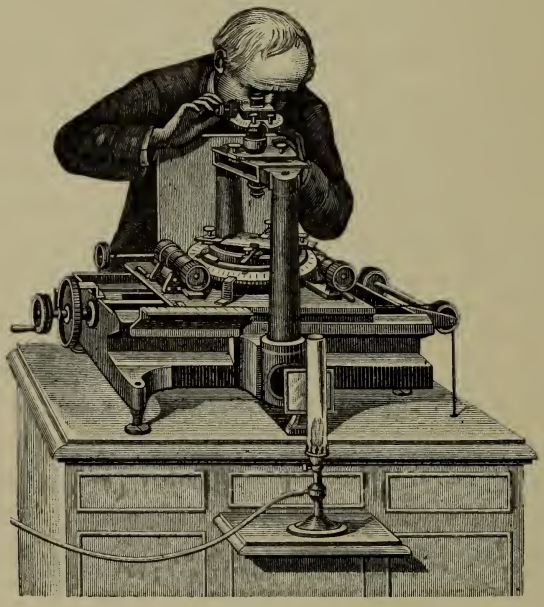


Fig. 679.

Le système mobile porte un plateau circulaire tournant, sur lequel peuvent être fixées les épreuves dont on veut effectuer les mesures. Au centre de ce plateau, on a ménagé une ouverture de 0^m18 de diamètre, afin de permettre, au moyen d'un petit miroir placé en dessous, l'éclairage de la plaque dans toute son étendue. Ce plateau est destiné à la mesure de l'angle de position des étoiles photographiées.

1. Mouchez, *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1887, p. 791.

Comme une précision suffisante n'aurait pu être obtenue au moyen d'un cercle simplement divisé et de verniers, et que l'emploi de microscopes destinés à fractionner les divisions du cercle aurait été peu pratique, on s'est arrêté à la disposition suivante : le pourtour du plateau est muni de 720 dents, dans lesquelles s'engagent les pas de deux vis tangentes, placées perpendiculairement aux extrémités d'un même diamètre. Ces deux vis sont commandées simultanément, au moyen de roues d'engrenage, par un arbre unique, muni d'une tête molletée que l'on tourne à la main; elles sont munies toutes deux d'un tambour divisé en 180 parties, dont chacune vaut 10″, et, comme le $\frac{1}{10}$ peut être facilement estimé, la lecture de l'angle de position se fait directement à 1″ près.

Le microscope qui sert aux mesures a une longueur de 0ᵐ200; il est muni d'un micromètre et d'un cercle de position. La vis du micromètre, du pas d'un demi-millimètre, porte un tambour divisé en 100 parties; chaque division du tambour correspond sur l'épreuve à $\frac{1}{600}$ de millimètre ou $\frac{1}{10}$ de seconde d'arc. Le cercle de position est gradué en degrés; un vernier donne les dixièmes. L'objectif du microscope est formé d'une lentille achromatique de 0ᵐ05 de distance focale et produit sur le plan des fils du micromètre une image de l'épreuve amplifiée trois fois. Le grossissement de l'oculaire est de dix fois.

Le microscope peut être déplacé horizontalement dans une direction perpendiculaire au mouvement du chariot : pendant les observations, on le fixe au moyen de deux pinces.

On peut, à l'aide de cet instrument, effectuer des mesures extrêmement précises sur les négatifs d'étoile; on peut explorer une plaque par zones successives et mesurer les coordonnées rectangulaires de chaque étoile.

La photographie peut être employée à déterminer la parallaxe des étoiles. M. Pritchard a ainsi déterminé la parallaxe de la 61ᵉ du Cygne. Les résultats obtenus ont été concordants à moins de un dixième de seconde près sur toutes les plaques dont la couche était convenablement préparée.

915. Décisions du Congrès de 1889. — Dans la session de septembre 1889, le Comité international permanent pour l'exécution de la carte photographique du ciel a adopté certaines résolutions dont nous résumons les plus importantes :

1. L'obturateur de l'instrument photographique sera formé d'un volet

tournant autour d'un axe ; les détails de la construction de l'obturateur sont laissés au choix de chaque astronome.

2. Les châssis seront de construction métallique ; les détails de cette construction sont à régler par chaque astronome avec son constructeur.

3. L'étendue utilisée du champ de la lunette photographique sera un carré de 2° de côté.

4. Les plaques auront 0m16 de côté.

5. La question de savoir si la mise au point sera faite pour le centre ou bien si la plaque sera placée un peu en dehors du plan focal sera résolue lorsque tous les Observatoires participants seront en possession de leurs instruments.

6. Les traits des réseaux auront 0m13 de longueur ; leur distance sera de 0m005. Le nom de l'Observatoire sera inscrit sur le réseau.

7. Pour les épreuves de la Carte comme pour celles du Catalogue, les plaques employées seront des glaces.

. . . . . .

11. On prendra comme étoile-guide une belle étoile du champ dont la position soit connue à 5″ près.

12. Une Commission de cinq membres (MM. Bakhuysen, Christie, Gill, Kapteyn et Lœwy) est nommée dans le but :

1° De déterminer les positions des centres de toutes les plaques pour l'équinoxe de 1900 ;

2° De choisir les étoiles-guides et d'assurer leur réduction.

13. La sensibilité des plaques devra être la même pour les négatifs du Catalogue et pour ceux de la Carte.

. . . . . .

15. Le réseau sera impressionné sur chaque plaque par de la lumière parallèle dans un châssis placé devant l'objectif photographique lui-même au foyer duquel on aura placé une source de lumière.

16. On fera usage d'un réseau pour la construction de la Carte.

17. Le réseau pour la Carte sera le même que pour le Catalogue.

18. On adoptera pour le temps de pose devant donner les étoiles de grandeur 11,0 le produit par 6,25 du temps de pose nécessaire pour obtenir la grandeur 9,0 de l'échelle d'Argelander.

19. Chaque observateur devra s'attacher à obtenir sur ses négatifs destinés au Catalogue la grandeur 11,0 déterminée aussi exactement que possible au moyen de l'échelle d'Argelander, que l'on prolongera au delà de la grandeur 9,0 par l'emploi du coefficient 2,5. A chacun sera laissé le soin d'apprécier si ses négatifs contiennent les étoiles dont la grandeur atteint cette limite.

20. Les plaques seront tannées en vue de leur conservation. Mais le Comité ne détermine pas le mode de tannage qui sera employé ; il ne décide rien non plus au sujet du vernissage, mais condamne toutefois l'emploi du vernis ordinaire comme devant empêcher des mesures exactes.

21. Le Comité émet le vœu que chaque observateur prenne une copie au moins de ses négatifs sur des glaces identiques à celles qui auront servi à obtenir les originaux. Le choix du lieu de dépôt de ces copies sera laissé au bureau du Comité permanent.

22. Une Commission de sept membres (MM. Bakhuyzen, Christie, Gill,

Pr. Henry, Kapteyn, Vogel, Trépied) est nommée pour l'étude des appareils de mesure et de toutes les questions qui s'y rattachent.

23. Il sera fait, pour chaque négatif du Catalogue, deux poses successives, la seconde ayant une durée d'un quart de celle de la première, et de telle sorte que la distance des deux images soit de 2 à 3 dixièmes de millimètre.

Le Comité recommande aux observateurs de déplacer l'instrument *en déclinaison* pour effectuer la seconde pose, si leur instrument leur permet de le faire, c'est-à-dire s'il est muni d'un micromètre.

24. La question des dispositions à prendre en vue d'abréger les travaux de mesure dans les parties du ciel où les étoiles sont assez serrées est renvoyée à la Commission des mesures et des appareils de mesure.

25. Le Comité affirme l'utilité de créer un Bureau de mesures, ou bien un petit nombre de pareils bureaux, pour le cas où des observateurs ne pourraient pas faire leurs mesures eux-mêmes.

26. Une Commission spéciale de cinq membres (MM. Common, Paul et Prosper Henry, Robert, Vogel) est nommée pour l'étude de toutes les questions relatives à la multiplication des négatifs. M. Wolf est adjoint à cette Commission.

27. Les négatifs porteront au coin N.-E. de la plaque un numéro d'ordre se rapportant à un registre. Sur ce registre seront inscrites :

1° La date ; 2° les heures du commencement et de la fin de la pose ; 3° la température du tube de la lunette ; 4° la hauteur barométrique.

28. La répartition des zones entre les Observatoires participants est la suivante :

NORD.			SUD.		
	Latitude.	Zone.		Latitude.	Zone.
Helsingfors. . .	+ 60° 9′	90° 70°	Rio de Janeiro. .	— 22° 54′	— 18° 26°
Potsdam.	+ 52 22	70 58	Santiago.	— 33 26	— 26 34
Oxford.	+ 51 45	58 48	Sydney.	— 33 51	— 34 42
Greenwich. . . .	+ 51 28	48 40	Le Cap.	— 33 56	— 42 52
Paris.	+ 48 50	40 32	La Plata.	— 34 55	— 52 70
Vienne.	+ 48 13	32 24	Melbourne. . . .	— 37 50	— 70 90
Bordeaux.	+ 44 50	24 18			
Toulouse.	+ 43 37	18 12			
Catane.	+ 37 30	12 6			
Alger.	+ 36 48	6 0			
San Fernando.	+ 36 27	0 6			
Chapultepec. . .	+ 19 26	— 6 12			
Tacubaya.	+ 19 24	— 12 18			

Si de nouveaux Observatoires venaient se joindre à ceux qui sont déjà engagés dans l'entreprise, le bureau du Comité permanent aurait à proposer les modifications qu'il serait nécessaire d'apporter à cette répartition.

916. Choix et emploi de l'objectif de l'équatorial. — L'objectif destiné à fournir les images des étoiles doit présenter certaines qualités spéciales : il doit être exempt d'aberration sphérique suivant l'axe et de

foyer chimique. Ces conditions étant réalisées (et en pratique elles le sont d'une façon extrêmement remarquable dans les objectifs de MM. Henry, objectifs qui ont environ 0m34 de diamètre pour une distance focale de 3m43), on peut chercher quelle est la distance maxima du centre à laquelle l'image obtenue sera encore utilisable, ou, pour employer le langage photographique, on peut se demander quelle est la surface que peut *couvrir pratiquement* un tel objectif. Bakhuyzen a spécialement étudié [1] cette question importante au point de vue de la rapidité du travail. Il a rappelé que Steinheil avait traité la question théoriquement pour divers objectifs, en particulier pour l'objectif construit par Fraunhofer pour l'héliomètre de Bessel, et pour un autre objectif qui serait exempt d'aberration sphérique.

Il en a calculé les points focaux pour dix-sept faisceaux de rayons parallèles provenant d'une étoile, faisant un angle de 48′ avec l'axe optique, et tombant sur dix-sept points distribués d'une manière symétrique sur la surface de l'objectif. Il a trouvé que pour l'objectif de Fraunhofer, quoique l'image soit symétrique par rapport au plan d'incidence, ce n'est nullement le cas en considérant l'image par rapport à un plan perpendiculaire au premier. Il y a une grande concentration de lumière dans une partie excentrique qui, dans une direction seulement, est accompagnée d'une queue lumineuse d'une assez grande longueur : l'image a l'aspect d'une comète.

Pour l'objectif, au contraire, qui, d'après la théorie de Steinheil, serait exempt d'aberration sphérique, l'image de l'étoile dans le plan focal serait parfaitement symétrique non seulement par rapport au plan d'incidence, mais aussi par rapport à un plan perpendiculaire, et aurait à peu près la forme d'une ellipse.

Bakhuyzen a constaté que dans les photographies d'étoiles faites avec les objectifs des frères Henry les images sont des ellipses et d'une intensité homogène, telle que le veut la théorie pour les objectifs exempts d'aberration. Les mesures qu'il a faites avec Wilterdinck à l'Observatoire de Leyde, sur des photographies d'étoiles obtenues par MM. Henry, ont montré qu'il n'y a aucune distorsion optique jusqu'à 1° du centre; les images, quoique elliptiques, n'offrent aucune difficulté pour les mesures les plus exactes, de sorte qu'il est du plus grand intérêt de ne pas diminuer la grandeur des plaques et d'adopter pour la grandeur utilisée du champ au moins 2°. C'est là ce qui explique la décision du Comité, bien que Christie [2] ait assuré qu'avec un objectif de Dallmeyer on pouvait obtenir des mesures assez exactes jusqu'à 3° du centre du champ; seulement, l'ellipticité très accusée des images augmente alors beaucoup la grandeur des erreurs accidentelles, et de plus, comme l'a signalé Duner [3], l'augmentation de plus en plus grande de la surface de ces ellipses à mesure qu'on s'éloigne du centre a pour conséquence la diminution de lumière par unité de surface. Par suite, en augmentant l'étendue du champ, on s'expose au danger de perdre les faibles étoiles; il convient donc de ne pas dépasser la distance de 1° à partir du centre.

Sous le rapport de l'étendue de netteté du champ, les objectifs sont supé-

1. *Réunion du Comité international permanent*, septembre 1889, p. 90.
2. *Ibid.*, sept. 1887, p. 17.
3. *Ibid.*, p. 18.

rieurs aux miroirs; ces derniers, qui présentent le grand avantage d'avoir un achromatisme chimique absolu, mais qui ne conservent leur pouvoir optique que sur un champ très restreint, doivent être réservés à l'étude des nébuleuses et des amas d'étoiles de peu d'étendue.

Il est inutile d'insister sur l'avantage que présente au point de vue de la confection de la carte photographique du ciel l'emploi d'un objectif donnant un champ très grand. Pickering[1] s'est proposé d'entreprendre et d'exécuter à lui seul, et en un an ou deux, la carte photographique du ciel à l'aide d'une lunette du prix de 250,000 francs, à quatre verres, à courte distance focale, et ayant 0m60 d'ouverture. 1200 ou 1500 négatifs de 0m30 de côté, représentant un champ de 25° carrés chacun, suffiront pour obtenir tout le ciel: mais avec un champ aussi étendu de 25°, obtenu avec une lunette à large ouverture et courte distance focale, on ne peut éviter les grandes déformations qui rendront impossible la détermination exacte des positions des étoiles et ne permettront d'obtenir qu'une carte physique du ciel.

A. Cornu[2] a cherché à employer les objectifs astronomiques ordinaires à l'obtention de photographies. Le problème qu'il a résolu peut s'énoncer ainsi : étant donnée une lunette astronomique achromatisée pour la vision, l'appliquer à la production d'images photographiques d'une perfection comparable à celle des images optiques, sans aucune modification coûteuse, ou qui la rende ultérieurement impropre à sa première destination. Fizeau et Foucault avaient indiqué en 1844 qu'une lunette astronomique peut produire des images photographiques satisfaisantes; il suffit de rechercher la position du foyer chimique généralement situé en arrière du foyer optique, à une petite fraction de la distance focale principale. Étant donné un objectif achromatique qu'on veut employer à la production d'images photographiques aussi parfaites que possibles, on commencera par déterminer son foyer chimique le meilleur, c'est-à-dire le plus net. On est assuré, à cause du peu de différence des verres employés en optique, de le trouver en arrière du foyer optique (le flint étant en dedans), à une distance égale à environ $\frac{1}{2}$ % de la distance focale principale. On corrigera l'aberration chromatique des rayons chimiques en séparant la lentille de crown et celle de flint d'une petite quantité, égale à très peu près à la différence entre la distance focale optique et la distance focale chimique la meilleure. Cette opération raccourcit le foyer d'environ $\frac{1}{20}$; dès lors, on doit diaphragmer l'objectif d'environ $\frac{1}{20}$ de son diamètre pour conserver la même distance angulaire. Il n'y a plus qu'à déterminer par tâtonnements quelle est la distance des verres qui donne les meilleures images. Cette distance est légèrement variable avec le degré d'achromatisme primitif. La règle indiquée par M. Cornu est un guide très utile pour éviter bien des pertes de temps.

L'écartement des verres équivaut, comme variation d'épaisseur du système objectif, à l'addition d'un troisième verre. C'est ce moyen qui a été proposé par Rutherfurd[3]: il ajoute à l'objectif une troisième lentille de flint, de courbures spéciales, étudiées de façon à corriger l'aberration chromatique des rayons chimiques.

1. *Réunion du Comité international permanent*, 1889, p. 3.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1874, p. 203.
3. *American Journal of Science*, XXXIX, mai 1865.

La solution généralement adoptée aujourd'hui consiste à donner aux lentilles des courbures telles que l'achromatisme optique soit sacrifié à l'achromatisme photographique. La photographie stellaire donne actuellement des résultats assez importants pour que, dans les Observatoires bien organisés, on réserve un instrument spécial pour ce service.

917. Mesure de la grandeur des étoiles. — Bond [1] a remarqué que le diamètre du disque des étoiles augmente avec le temps de pose, qu'il augmente avec l'éclat des étoiles, et peut être employé pour la mesure des grandeurs relatives de ces astres; il reconnut plus tard que la surface du disque qui forme l'image de l'étoile est proportionnelle au temps de pose.

On ne peut cependant baser sur la seule photographie un classement de la grandeur photométrique de ces astres. La pratique a montré qu'une carte photographique des étoiles représente souvent un ciel un peu différent de celui que les astronomes sont habitués à observer; ceci tient à ce que certaines étoiles ont un spectre composé en majeure partie de rayons violets ou ultra-violets. Une telle étoile sera donc facilement reproduite par les plaques habituellement employées en photographie; une étoile rouge, au contraire, bien visible à l'œil, pourra passer presque inaperçue. Il suit de là qu'avec des *plaques ordinaires* il n'est pas possible d'opérer avec précision dans la mesure de l'éclat déduit de l'intensité ou du diamètre des images chimiques. La photographie permet cependant d'effectuer ces mesures par l'emploi de *plaques orthochromatiques* (**470**) préparées de manière à ce qu'elles offrent le maximum de sensibilité pour les radiations dont se compose en majeure partie le spectre de l'étoile anormale. Cette couleur des étoiles n'a pas cependant dans la pratique une importance aussi considérable qu'on serait tenté de le croire, parce que le plus souvent les cartes d'étoiles sont obtenues avec des temps de pose trop considérables pour les premières grandeurs.

La relation qui existe entre le diamètre des disques produits par les étoiles et leur grandeur photométrique n'est pas aussi simple que l'avait annoncé Bond. Il résulte des recherches faites à Oxford par C. Pritchard [2] que la formule qui exprimerait le résultat de ses mesures est

$$D - D' = \delta (\log G - \log G').$$

D et D′ sont les diamètres des disques produits par des étoiles dont les grandeurs sont G et G′. Ceci revient à dire que quand les grandeurs croissent en proportion géométrique les diamètres croissent en proportion arithmétique. Il a trouvé également que le diamètre des images photographiques des étoiles augmente proportionnellement à la racine carrée de la durée de la pose. Pickering a trouvé des résultats analogues à ceux de Pritchard.

918. Photographie des étoiles multiples, des amas, des nébuleuses. — L'emploi de la photographie est extrêmement précieux pour l'étude des étoiles doubles ou multiples. On peut, en effet, obtenir facilement l'image de ces astres malgré une très grande différence dans leur éclat

1, *Astronom. Nachrichten*, XLVII, juillet 1857, pp. 1-6.
2. *Procedings of the R. Societ.*, XL, p. 449, 20 mai 1886.

relatif : il suffit pour cela de faire varier convenablement le temps de pose selon la grandeur des étoiles; de plus, la photographie permet d'éliminer bien des erreurs dans l'appréciation des grandeurs relatives des étoiles doubles ou multiples. Il a été démontré par O. Struve qu'à l'observation directe la différence de grandeur des deux composantes augmente avec le diamètre de l'objectif employé. Il n'en est plus de même en photographie. La mesure de distance des étoiles doubles peut se faire sur les négatifs à l'aide de pointés donnant une précision supérieure à celle de l'observation directe. L'angle de position s'obtient en arrêtant le mouvement d'horlogerie de l'appareil photographique et laissant l'astre décrire son mouvement diurne, dont on retrouve la trace sur la plaque sensible. L'échelle pour la mesure des distances est donnée par la comparaison de l'espace parcouru au temps écoulé.

L'étude des orbites d'étoiles doubles est donc facile par l'emploi de la photographie. Il en est de même de l'étude des amas d'étoiles sur lesquels les mesures ne sont pas possibles par l'observation directe. La photographie de ces amas permettra de découvrir les mouvements relatifs de certaines étoiles, mouvements dont l'existence ne peut être que soupçonnée par les moyens d'observation usuels.

L'amas de Præsepe, la constellation des Pléiades ont déjà fourni de beaux résultats. MM. Henry ont obtenu, par une pose de trois heures, une carte des Pléiades contenant un grand nombre d'étoiles de quinzième ou seizième grandeur; de plus, cette photographie a prouvé l'existence autour de Maïa d'une nébulense qui n'avait jamais été aperçue.

La photographie des nébulenses a fourni des résultats très intéressants. Mais Common, après avoir photographié la nébulense d'Orion [1], a conclu que les objectifs sont les instruments les plus convenables pour la construction d'une carte céleste, et que les réflecteurs ne doivent être employés que pour la photographie à grande échelle d'objets intéressants comme les nébulenses et les amas d'étoiles. On peut cependant, avec de bons réfracteurs, obtenir des résultats remarquables, comme le prouvent les photographies faites par MM. Henry; celles de MM. Rayet et Courty [2], de la nébulense de la Lyre faites en trois heures de pose et qui montrent la nébuleuse de treizième, quatorzième grandeur située à l'intérieur et presque au centre de l'anneau; celle de M. Trépied, représentant la même nébulense et obtenue en six heures de pose en deux séances de trois heures chacune dans le mois d'août [3], et celles que MM. Andoyer et Montangerand ont obtenues tout récemment sur la même nébulense de la Lyre [4]. En laissant une plaque pendant plusieurs jours dans le châssis et en continuant le travail pendant plusieurs soirées consécutives sur une même plaque, suivant les indications de M. Andoyer, M. Montangerand a obtenu un négatif de la nébulense annulaire de la Lyre, au milieu de laquelle se détache très nettement, à la vue simple, l'étoile centrale. Le négatif du format $0^m09 \times 0^m12$, soit 3° carrés de superficie, reproduit environ 4,800 étoiles; avec des poses de deux heures, on ne peut obtenir un aussi grand nombre d'étoiles.

1. *Monthly Notices of the R. Astron. Soc.*, XLV, p. 22.
2. *Comptes rendus*, 1890, II, p. 31.
3. *Ibid.*, II, p. 157.
4. Baillaud, *Comptes rendus*, octobre 1890.

919. Historique. — Les premiers essais de photographie des étoiles remontent à l'origine du procédé du daguerréotype; mais c'est seulement en 1850 que W.-C. Bond et Whiple obtinrent à Cambridge des images relativement nettes de certaines étoiles. Plus tard, en 1857[1], G.-P. Bond employa le procédé du collodion humide et effectua des mesures précises sur les images obtenues. En 1860 et 1861, Warren de la Rue[2] se servit d'un objectif photographique de court foyer par rapport à son ouverture, monté avec sa chambre obscure sur une lunette équatoriale pourvue de son mouvement d'horlogerie. Comme les images des étoiles étaient très petites, Warren de la Rue proposa de ne pas placer la plaque sensible exactement au foyer de l'instrument, de manière à obtenir des images des étoiles qui soient de petits disques. Rutherfurd[3] obtint, à la fin de 1864, de belles photographies de l'amas de Prœsepe, de la constellation des Pléiades, etc.; les photographies produites servirent à faire des mesures qui étaient très précises. Rutherfurd opérait avec un objectif de 0^m285 de diamètre qui lui permettait d'obtenir les étoiles de neuvième grandeur sur plaque au collodion humide. Gould se servit, en 1875, à Cordoba, de l'objectif de Rutherfurd, objectif dont le flint avait été remplacé par Fitz : il obtint un très grand nombre de photographies d'amas d'étoiles de l'hémisphère austral; les plaques étaient dans le début préparées au collodion humide.

H. Draper réussit à produire sur plaque au gélatino-bromure une photographie de la nébuleuse d'Orion[4]. Il se servait d'un objectif de 0^m28 construit par Alvan Clark. Plus tard, en mars 1881, il obtint les étoiles de quatorzième grandeur de cette nébuleuse, avec un temps de pose de cent quatre minutes. Avec un pose de cent trente sept minutes, Draper réussit à photographier la nébuleuse en mars 1882; l'aspect de cette photographie est des plus remarquables.

H. Draper se proposait de modifier la monture de son équatorial de manière à pouvoir arriver à des durées de pose de près de six heures et à photographier cette fois des étoiles absolument invisibles à l'œil[5]; mais la mort l'enleva à la science (20 novembre 1883) avant qu'il ait pu mettre ce projet à exécution.

Common produisit, le 30 janvier 1882, une très belle photographie de la nébuleuse d'Orion en se servant d'un télescope de 0^m90 d'ouverture[6], et, dès cette époque, entreprit la construction de la carte du ciel. M. Janssen, avec un télescope de 0^m50 d'ouverture et de très court foyer, avait obtenu, en 1881, une épreuve de cette nébuleuse avec une pose de quinze minutes.

En même temps qu'il rendait pratique le procédé au gélatino-bromure, notre ami Van Monckhoven, qui possédait à Gand un petit observatoire, nous écrivait au mois de juin 1880 : « Vous apprendrez avec un vif plaisir que je suis parvenu à photographier directement les étoiles jusqu'à la douzième grandeur, chaque épreuve embrassant un angle de 4^0 carrés,

1. *Astr. Nachric.*, XLVII, juillet 1857.
2. *Report of the British Association.* Manchester, 1861.
3. *Americ Journ. of Sciences*, XXXIX, mai 1865.
4. 30 septembre 1880.
5. Rayet, *Bulletin astronomique de l'observatoire de Paris*, IV, 1887.
6. *Montly Notices*, mars 1883, p. 255.

l'image étant rigoureusement orthographique. *Je vais sérieusement m'occuper de faire une carte céleste par la photographie...*» C'est grâce à son habileté dans la fabrication des plaques au gélatino-bromure que Van Monckhoven était arrivé à ces résultats remarquables pour l'époque à laquelle ils étaient obtenus. Nous avons vu à Gand (en septembre 1880) ces premiers essais de la carte du ciel ; ils étaient des plus intéressants, et nous devons à la vérité de dire que presque tous les astronomes de Belgique ou d'Allemagne, auxquels nous fîmes part alors des résultats que nous avions constaté, refusèrent d'y croire et traitèrent d'utopie la réalisation d'une carte du ciel par la photographie. Van Monckhoven ne poursuivit pas son projet et se livra exclusivement à la fabrication des plaques au gélatino-bromure, fabrication dans laquelle il excellait et qui contribua à rendre populaire ce procédé si délicat à cette époque. Ce n'est qu'après la mort de Van Monckhoven que J. Roberts commença une carte du ciel : il s'occupa de la portion du ciel voisine du pôle nord. E.-C. Pickering, d'Harvard College, obtenait, en 1882, des images des étoiles de huitième grandeur: le temps de pose était de quinze minutes avec un objectif photographique de 0^m18 d'ouverture et 0^m94 de distance focale. Nul doute qu'avec une exposition plus longue il n'eût obtenu une carte comparable aux cartes d'Argelander. Ces essais le déterminèrent à faire construire un équatorial photographique[1] muni d'un objectif ayant 0^m20 d'ouverture et 1^m15 de distance focale, et devant donner des cartes célestes analogues aux cartes de Chacornac ou à celles de Peters.

Gill avait remarqué, en photographiant la comète de 1882, qu'un grand nombre d'étoiles faibles étaient reproduites sur les plaques; il décida que la carte du ciel austral serait faite par la photographie, et en juin 1885 un objectif de Dallmeyer de 6 pouces d'ouverture permettait d'obtenir des photographies de 6° de côté ; après une heure d'exposition les étoiles de neuvième dixième grandeur étaient reproduites. Le levé de la portion du ciel comprise entre 57° et 90° de déclinaison australe était à peu près terminé à la fin de 1886.

MM. Paul et Prosper Henry, astronomes de l'Observatoire de Paris, en même temps très habiles opticiens, étaient chargés de continuer la carte écliptique de Chacornac. Après avoir publié un grand nombre de feuilles de cette carte, « aux approches de la voie lactée, les groupes d'étoiles se « présentèrent tellement serrés qu'il leur devenait absolument impossible « de s'y reconnaître...; c'est alors qu'ils pensèrent à recourir à la photogra- « phie, qui avait déjà, dans certaines limites, donné de bons résultats à « l'étranger[2] ». Leurs premiers essais furent faits en juin 1884 avec un objectif de 0^m16 de diamètre achromatisé pour les rayons chimiques. Ces essais furent si remarquables que l'amiral Mouchez, directeur de l'Observatoire de Paris, fit construire immédiatement un grand appareil photographique spécial de 0^m33 d'ouverture et de 3^m43 de distance focale. L'objectif construit par MM. Henry permet d'obtenir des étoiles de seizième grandeur en une heure trente minutes de pose. Des étoiles aussi faibles

1. *Memoirs of the American Academy*, XI, 1886.
2. Mouchez, *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1887, p. 775.

sont un peu au delà de la limite de ce qu'un objectif de même ouverture permet d'apercevoir par l'observation directe.

Cette dimension d'objectif a été adoptée par les nombreux Observatoires, qui ont décidé, en 1887, de contribuer à l'exécution de la carte photographique du ciel. Ce magnifique travail, dû à l'initiative de l'amiral Mouchez et au patronage de l'Académie des sciences, ne sera terminé que dans quelques années.

Isaac Roberts a imaginé, sous le nom de pantograveur stellaire, un appareil[1] qui permet de reporter sur une plaque métallique, avec une rigoureuse exactitude en grandeur et en position, toutes les étoiles d'un négatif. L'opération pouvant se faire économiquement et rapidement, on peut reproduire sur métal tous les négatifs de la carte du ciel.

Holden a démontré qu'on pourrait obtenir des photographies d'étoiles en plein jour[2]; il annonçait que si la lumière intrinsèque de l'étoile est dix fois plus considérable que celle du fond éclairé, l'image photographique, dans la lunette de l'Observatoire de Lick, serait 4,424 fois plus brillante que celle du ciel. On peut augmenter considérablement ce contraste en diminuant l'ouverture dans une lunette quelconque. En septembre 1890, M. Holden et MM. Campbell, en se servant de la grande lunette de l'Observatoire de Lick ayant 570 pouces de foyer, avec des ouvertures qui ont été respectivement de 13, 15, 8 et même 4 pouces, ont photographié Vénus, Mercure, la Lune, etc., en plein jour; le temps de pose a été 0s,13; en général l'ouverture la plus petite a donné l'image la plus foncée.

§ 2. — HÉLIOPHOTOGRAPHIE.

920. Méthode de Janssen. — M. Janssen se sert d'un objectif de 6 pouces de diamètre construit par Prasmowski[3]. L'image solaire formée par cet objectif est reprise par un système optique amplificateur et projetée sur la plaque sensible préparée au collodion; un obturateur à guillotine, très léger, fonctionnant d'un mouvement uniforme, est placé au foyer principal de l'objectif et permet de faire varier la durée du temps de pose de $\frac{1}{500}$ à $\frac{1}{6000}$ de seconde.

Les images projetées sont d'un diamètre assez grand pour que les dimensions des particularités à reproduire soient supérieures aux défauts possibles des couches de collodion; en faisant varier l'ouverture de la guillotine, on obtient des temps de pose assez courts pour qu'aucune partie du négatif ne soit surexposée, ce qui permet de photographier les plus légères différences d'éclat. Prasmowski[4] avait

1. *Comptes rendus*, 1889, I, p. 932.
2. *Monthly Notices*, 16 sept. 1889.
3. *Comptes rendus*, 1877, et *Annuaire du Bureau des longitudes pour* 1879.
4. *Bulletin de la Société française photographie*, 1880, p. 321.

choisi pour place de l'obturateur un des foyers réels de l'image. Cet emplacement est imposé par les lois de l'optique pour éviter toute diffraction et conserver à l'image toute sa pureté et l'exactitude rigoureuse de sa forme; cependant, afin de ne pas être gêné pour placer le réticule, on peut, en fait, s'en écarter de quelques millimètres sans inconvénient. Une autre condition non moins essentielle était d'assurer une vitesse uniforme à l'obturateur pendant toute la durée d'action. L'instrument étant monté parallactiquement, l'obturateur devait pouvoir prendre, sans que son fonctionnement en souffrît, toutes les positions possibles par rapport à l'horizon. La partie mobile de l'appareil doit donc être équilibrée, non seulement au point de vue statique, mais encore au point de vue dynamique. Pour obtenir ce résultat, la partie mobile de l'obturateur est mise en mouvement par un ressort qui est maintenu bandé au moyen d'un fil. Lorsqu'on veut opérer, on coupe ce fil, et la fente prend un mouvement rapide uniformément accéléré. Pour transformer ce mouvement accéléré en une vitesse uniforme, l'obturateur rencontre dans sa marche un galet fixé à un ressort qui le presse contre le contour de la pièce en mouvement. A mesure que le ressort moteur tend à accélérer la vitesse, le ressort additionnel presse sur le galet et augmente la résistance au mouvement; une fois la courbe de pression bien déterminée, la fente prend un mouvement parfaitement uniforme pendant toute la durée de l'action. On obtient donc avec cet obturateur l'uniformité d'éclairage, l'absence de déformation et de diffraction, et une finesse extrême de l'image.

Les qualités de l'objectif sont pour beaucoup dans cette finesse de l'image. M. Janssen[1] a été conduit à déterminer la réfrangibilité des rayons chimiques solaires qui ont le plus d'action sur les plaques préparées au collodion humide. Pour cela, il a photographié sur une plaque, avec des temps de pose de plus en plus courts, un spectre formé avec des prismes composés des matières qui devaient plus tard constituer son objectif photographique. Il a ainsi démontré que l'intensité *maxima* du spectre photographique était au voisinage de G. L'étendue des spectres photographiques diminue avec le temps de pose, et, pour des durées de quelques secondes ou fractions de seconde, suivant le cas, le spectre se réduit à une bande située très près de la raie G. Cette circonstance remarquable montre tous les

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1878, p. 174.

avantages que les images photographiques peuvent avoir dans ces conditions au point de vue de la netteté sur les images oculaires; elle explique en grande partie comment la courte durée de pose permet d'obtenir des images solaires plus parfaites que les images oculaires des lunettes astronomiques. Il résulte de la propriété des spectres photographiques découverte par M. Janssen que dans la construction de l'objectif photographique destiné à l'héliophotographie on n'a à compter qu'avec des rayons extrêmement voisins, et l'achromatisme peut alors être obtenu avec une extrême rigueur.

Les photographies solaires obtenues à l'Observatoire de Meudon sont de très grandes dimensions; celles qui donnent un disque de $0^{m}30$ de diamètre ont montré des détails inconnus jusqu'alors sur la constitution de la photosphère, notamment sur la vraie nature des granulations. Ces photographies, obtenues couramment depuis 1877, montrent nettement le réseau photosphérique, souvent impossible à voir lorsqu'on examine l'astre par projection ou par l'intermédiaire de verres noirs, d'hélioscopes, et avec le secours d'objectifs argentés. L'emploi de la photographie donne des résultats incomparablement supérieurs à ceux que donne l'observation directe. Pour obtenir régulièrement ces photographies qui montrent les granulations solaires et leurs dispositions en réseau polygonal, etc., il a fallu toute la courageuse énergie et toute l'habileté du savant directeur de l'Observatoire de Meudon, qui, le premier en France, n'a pas craint d'introduire officiellement dans un établissement scientifique la photographie; il fallait à cette époque un vrai courage pour agir ainsi, car au lieu d'être aidés, ceux qui voulaient appliquer les plaques sensibles à leurs recherches étaient en butte aux tracasseries incessantes et aux sarcasmes de bien des savants dont le rôle eût été de protéger la photographie.

921. Méthode de M. Laussedat. — Plusieurs astronomes ont émis l'opinion qu'il y aurait avantage à obtenir directement de grandes images solaires à l'aide d'un objectif à long foyer employé sans appareil d'agrandissement. Dans ces conditions, il devient extrêmement difficile de monter l'objectif équatorialement à cause de la longueur qu'atteindrait le tube. On place alors la lunette horizontalement, et sa grande distance focale est sans inconvénient. Les rayons solaires sont réfléchis sur l'objectif à l'aide d'un miroir plan argenté à sa surface et monté équatorialement; cette monture n'est pas indis-

pensable, puisque la pose est instantanée. C'est le dispositif employé par M. Laussedat pour l'observation de l'éclipse de 1860. Depuis lors, cette méthode a été fréquemment employée; elle est en usage à Harvard College depuis 1870 et a donné de bons résultats[1]. L'objectif employé a 0m10 d'ouverture et 10 mètres de distance focale. L'obturateur à guillotine est placé sur un support spécial entre le miroir et l'objectif; il porte une fente de près de 0m05 de large. Le miroir, l'objectif et la plaque photographique sont disposés sur trois piliers différents; ce système est analogue à celui employé par M. Laussedat et proposé par Fizeau et Foucault en 1846.

922. Historique. — Les premières photographies solaires ont été obtenues en 1842 par Majocchi[2]; il opérait sur plaque d'argent par le procédé de Daguerre. Fizeau et Foucault, en 1845, obtinrent la première image qui montrait la décroissance de la lumière du centre à la circonférence du disque solaire et des groupes de taches avec leur pénombre. Reade[3], en 1854, obtint une image instantanée du Soleil montrant la surface mouton-née de ce dernier.

MM. Faye et Porro[4], en 1858, employèrent pour photographier le Soleil un objectif ayant 15 mètres de longueur focale. Leurs épreuves permettent de reconnaître à l'œil nu, sans avoir besoin de loupe, non seulement les facules des taches marginales, mais encore les marbrures les plus délicates qui sillonnent les bords du soleil[5]. Les images obtenues avaient environ 0m15 de diamètre. Le temps de pose était très court: un obturateur instantané était déclanché électriquement et enregistrait le moment de la pose. Un dispositif spécial permettait de prendre des empreintes d'un même bord du Soleil à des intervalles de temps connus pour déterminer la valeur en seconde d'arc des dimensions linéaires des images obtenues; l'opération s'effectuait à l'aide du collodion sec. M. Faye[6], qui, en 1848, avait dit à l'Académie des sciences : « supprimons l'observateur, remplaçons-le par la plaque daguerrienne », reprit la proposition faite par Herschell[7] en 1854, et demanda que l'on fît, à l'aide d'un grand instrument, une histoire photographique du Soleil jour par jour, et qu'on conservât soigneusement les négatifs pour fournir à la postérité des éléments précieux. C'est sur cette proposition d'Herschell, adoptée par l'Association britannique, que fut décidée la construction du photohéliographe de Kew. L'instrument fut établi en 1855 et 1856 par Dallmeyer; il fut installé en 1858 sous la direction de M. Warren de la Rue. L'appareil se compose d'un objectif de 0m086 de

1. *Annals of the Astronomical Observatory of Harward College*, 1876, p. 37.
2. *Annalen der K. K. Sternwarte in Wien*, II, p. 38.
3. *Reports of the British Association*. Liverpool, sept. 1854.
4. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1858, p. 94.
5. *Ibid.*, 1858.
6. *Comptes rendus*, 1858.
7. *Reports British Association*, 1854, pp. 33-34.

diamètre, diaphragmé à 0^m05 et ayant 1^m27 de distance focale. L'image focale est amplifiée à l'aide d'un oculaire d'Huyghens et fournit un disque de 0^m10. Entre les deux verres de l'oculaire se trouve le micromètre, formé de deux couples de deux fils, perpendiculaires l'un à l'autre, et dont la distance angulaire est connue; ces fils, photographiés en même temps que le Soleil, forment l'échelle qui permet les mesures de la position des taches. L'obturateur imaginé par Warren de la Rue et Welsh est constitué par un diaphragme métallique, percé d'une ouverture rectangulaire très étroite, mobile à l'aide d'un puissant ressort et placé aussi près que possible du foyer de l'objectif. Cet obturateur, dont la fente est variable, peut être très léger, et son mouvement rapide ne communique aucune vibration sensible à l'ensemble de l'instrument. Tout l'appareil [1] est monté dans une sorte de pyramide quadrangulaire qui elle-même est fixée à l'extrémité de l'axe de déclinaison d'une monture équatoriale. Les nombreuses images obtenues à Kew depuis 1858 ont fourni de très importants résultats de statistique solaire.

Challis [2], en 1860, réussit à obtenir des négatifs au collodion sur lesquels étaient reproduites les taches avec leurs pénombres et leurs facules. Le temps de pose était réglé à l'aide d'un écran qu'on déplaçait rapidement à la main devant un objectif; l'image focale du Soleil était projetée directement à l'aide d'un oculaire qui donnait un grossissement de cent fois.

L. Rutherfurd [3], en 1871, obtint des photographies du disque solaire avec facules, taches noires, feuilles de saule parfaitement distinctes. H. Vogel se servit, à l'Observatoire de Bothkamp, d'un objectif de $0^m,294$ d'ouverture diaphragmé à $0^m,095$ et d'un oculaire amplifiant construit par Schröder, formé de deux lentilles convergentes. L'image solaire de $0^m,105$ de diamètre est projetée sur la plaque photographique; la guillotine, portant une fente étroite à bords parallèles, est placée dans le plan de l'anneau oculaire du système d'agrandissement.

Dans tous les appareils comportant un objectif et un oculaire amplificateur la mise au point exacte de la plaque collodionnée est assez délicate, du moins dans les anciens appareils, et Warren de la Rue a rapporté que cette détermination avait nécessité de nombreux essais. Aussi Zenger [4] a remplacé l'emploi des lentilles pour obtenir l'image du Soleil par celui d'un miroir à long foyer, de manière à obtenir des images de 0^m025 à 0^m050 de diamètre; dans ces conditions l'aberration sphérique est insignifiante et les images sont d'une grande netteté. De plus, en employant la méthode des agrandissements successifs, qui, d'après lui, permet de corriger la faible aberration sphérique, on obtient de bons résultats [5]. Si l'on a photographié le soleil ou la lune à l'aide d'une lunette astronomique dont le reste d'aberration soit $+ \lambda$, et que l'on fasse usage d'un autre système optique dont l'aberration totale soit $- \lambda'$ et que le système produise un grossissement m,

1. *Voyez :* Van Monckhoven, *Traité général de photographie*, 5e édition, p. 391.
2. *Monthly Notices*, XXI, p. 36.
3. *Phot. Journal*, 19 juin 1871, et *Bulletin de la Société française de photographie*, 19 juin 1871.
4. *Comptes rendus*, 1874.
5. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1874, p. 115.

le reste d'aberration de l'image produit par ces deux systèmes optiques serait

$$L = \lambda - m^2\lambda'.$$

On peut alors produire des images avec une aberration nulle si $\lambda = m^2\lambda'$, ou avec une aberration négative si $m^2\lambda' > 1$. On peut ensuite photographier cette image avec une aberration négative en employant un miroir concave ou une lentille aplanétique, donnant la même aberration $L = \lambda - m^2\lambda'$, mais positive. Cette méthode des agrandissements successifs des images de la Lune et du Soleil lui a permis d'obtenir des épreuves de près de 3 mètres de côté.

Sonrel[1] a employé deux procédés pour les photographies du Soleil : il s'est servi de faibles grossissements pour étudier les trajectoires des taches, et de forts grossissements pour étudier le détail de ces taches.

Le procédé photographique usité pour la photographie du Soleil a presque toujours été celui du collodion humide. Abney[2] a conseillé l'emploi du collodion sec. Les glaces sont d'abord recouvertes d'un liquide contenant 100 c. c. d'eau et 2 c. c. d'albumine ; on laisse sécher cette couche que l'on recouvre d'un bon collodion bromo-ioduré ; la plaque est plongée dans le bain d'argent, soigneusement lavée, puis recouverte d'un préservateur renfermant un mélange de 4 grammes d'albumine desséchée dissoute dans 100 c. c. de bière. La couche de collodion est recouverte de ce liquide, qui ne doit point produire de taches si tout le nitrate d'argent a été enlevé. Après une demi-minute de séjour sur la glace, on rejette cette solution ; la plaque est alors lavée de nouveau, puis recouverte d'une solution de $0^{gr}4$ d'acide pyrogallique dans 100 c. c. de bière ; enfin, on laisse sécher complétement la plaque dans l'obscurité. On peint l'envers de la glace avec une couleur inactinique pour éviter la production du halo. Le développement s'effectue après lavages de la glace à l'aide du révélateur alcalin ; aussitôt que tous les détails de l'image ont apparu, on lave à l'eau distillée et l'on renforce l'image avec l'acide pyrogallique mélangé d'acide nitrique et de nitrate d'argent.

Le procédé Taupenot fournit des images très fines. On peut aussi employer les glaces préparées à l'albumine pure, surtout si l'image doit être fortement agrandie. Les émulsions au collodio-bromure, les émulsions orthochromatiques donnent, dans quelques cas spéciaux, de très bons résultats ; enfin, on peut employer les glaces au gélatino-bromure avec une émulsion peu rapide dont le bromure d'argent possède une grande finesse. Il est presque toujours indispensable de recouvrir l'envers d'une couche de couleur pour empêcher la production du halo.

L'albuminage préalable de la glace que l'on doit recouvrir de collodion a été fortement recommandé par Chapman[3]. Dans une série d'essais entrepris d'après les indications de Rutherfurd, il a constaté qu'avec des glaces convenablement albuminées la couche pouvait être employée avec confiance pour des travaux exigeant la plus grande précision.

1. *Comptes rendus*, 9 mai et 18 juillet 1870.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1875, pp. 139, 165.
3. *American Journal of Sciences and Arts*, décembre 1872.

§ 3. — SÉLÉNÉPHOTOGRAPHIE.

923. Procédés opératoires. — Les procédés photographiques employés pour former l'image de la Lune varient suivant que le négatif obtenu est destiné à être agrandi ou à être employé directement. Dans le premier cas, on emploiera soit le procédé du collodion humide, soit le procédé du collodio-bromure. Avec un équatorial très bien réglé et muni d'un chercheur à longue distance focale permettant de maintenir sur la croisée des fils un point de la surface lunaire, il vaut mieux employer le procédé au collodion albuminé ou le procédé indiqué par Abney pour l'obtention des images solaires, car les surfaces sensibles préparées par ces divers procédés fournissent des images d'une très grande finesse.

Lorsque l'image de la Lune projetée sur la surface sensible est d'un diamètre assez grand, on peut employer les plaques préparées au gélatino-bromure d'argent.

Pour obtenir des images suffisamment détaillées, il est indispensable de conduire le développement de façon à produire une image peu intense. Avec les plaques préparées par les procédés du collodion, on se sert d'un révélateur alcalin peu concentré ; au besoin, on renforce légèrement l'image avec le mélange d'acide pyrogallique et de nitrate d'argent. Si le développement est bien conduit, on évite le principal insuccès d'ordre technique qui se présente dans la photographie lunaire, à savoir la production d'images *dures,* ne présentant que du blanc et du noir, sans demi-teintes ; or, ce sont précisément ces demi-teintes qui dans une image nette font toute la valeur de la photographie et constituent sa supériorité sur un dessin fait à la main. L'emploi des plaques orthochromatiques a déjà permis d'obtenir quelques résultats intéressants ; mais il faut des préparations spéciales autres que celles que l'on trouve dans le commerce pour tirer tout le parti possible de ce mode opératoire. Ce qu'il faut surtout éviter dans la photographie lunaire, c'est l'empâtement des grands clairs ; on y parvient en opérant comme s'il s'agissait d'obtenir un négatif destiné à l'agrandissement ; il faut aussi éviter la production du voile et arrêter le développement avant que le fond de l'image ne commence à se teinter sous l'influence du révélateur, ce qui n'est pas toujours facile. Dans certains cas, un excès de pose permettant aux parties fortement

éclairées de se solariser et une forte quantité de bromure dans le révélateur conduisent à un bon résultat. Le développement à l'iconogène fait à basse température permet d'obtenir des négatifs très brillants et remplis de détails.

924. Application diverses. — Le commandant Moessard[1] a insisté sur les avantages que présente la photographie pour obtenir la trajectoire de la Lune. Il emploie un objectif rectilinéaire monté sur une chambre noire, l'appareil étant disposé de façon à embrasser l'espace que doit parcourir l'astre dans son mouvement diurne. L'objectif est découvert au moment où l'image de la Lune va apparaître sur la plaque, et l'appareil est abandonné à lui-même pendant trois heures ; après le développement de l'image, on constate que la plaque est traversée par un ruban noir dont la largeur est celle du diamètre apparent de la Lune et qui représente l'enveloppe des positions occupées par la Lune pendant la pose. En faisant la même opération pendant un certain nombre de nuits de suite, la chambre étant chaque fois dans la même position, on obtient des images dont la succession démontre d'une façon palpable les lois du mouvement propre de la Lune combiné avec le mouvement diurne de la sphère céleste. On peut enregistrer ces variations d'une façon saisissante en installant un appareil en position convenable et recevant sur la même plaque la trajectoire de la Lune pendant plusieurs nuits consécutives (quatorze dans les conditions les plus favorables) à partir de l'une des positions extrêmes.

Les phases de la Lune pourront en même temps être enregistrées d'une manière très simple : il suffit, quand l'image de la Lune se projette à peu près au milieu de la plaque, de boucher l'objectif pendant deux minutes et demie, de le découvrir ensuite pendant une ou deux secondes, de le boucher de nouveau pendant deux minutes et demie, puis de le rouvrir jusqu'à la fin de l'expérience : on note exactement l'heure de ces interruptions successives. La courbe obtenue sera interrompue, et, au milieu de l'interruption, on aura la figure de l'astre sous forme d'un cercle plein ou d'un croissant plus ou moins délié selon l'âge de la Lune.

Les courbes permettent l'étude du mouvement périodique de la Lune et les phases celles de son mouvement synodique. La combinaison des courbes et des phases donnera les relations entre le mois lunaire périodique, entre deux passages au même point du ciel, et le mois lunaire synodique, entre deux nouvelles Lunes.

Quand la Lune n'est pas pleine, on obtient sur la plaque des traces noires fines, parallèles et d'intensité différente qui sont produites par les étoiles. Si l'on fait poser une plaque pendant un certain nombre de nuits consécutives, une même étoile donnera une même courbe qui gagnera ainsi beaucoup en intensité. Ces courbes d'étoiles représentent sur le négatif des courbes d'égale latitude qui permettront la mesure exacte des variations de la Lune en latitude.

Les photographies de la Lune faites avec les appareils de grande dimen-

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, p. 296.

sion pourront indiquer plus tard si notre satellite est en voie de transformation; il faudra pour cela refaire de temps en temps des images de la Lune. Il est évident que s'il survient quelques changements dans les détails topographiques de la surface lunaire, il suffira, pour qu'ils deviennent perceptibles sur les photographies faites avec de très grands instruments, qu'ils aient une étendue équivalente à 1″ d'arc, soit 1500 à 2000 mètres.

925. Historique. — La sélénéphotographie ou photographie de la Lune a été la première application qui ait été faite de la photographie à l'astronomie. Arago [1], en 1839, avait fait faire les premiers essais par Daguerre; mais vu le peu de sensibilité de la plaque à l'iodure d'argent, les résultats furent des plus médiocres. J.-W. Draper [2], qui fit en Amérique la première application du daguerréotype au portrait, réussit, en mars 1840, à obtenir des images lunaires de 0^m025 de diamètre en employant un télescope de Newton ayant un miroir de 0^m13 d'ouverture; la durée du temps de pose avait été de vingt minutes. Dix ans plus tard, Bond et Wipple obtinrent des photographies de la Lune ayant 0^m12 de diamètre; ils se servaient de l'équatorial de 0^m38 d'ouverture, de Harvard College, et plaçaient la plaque iodée au foyer chimique principal de cet objectif; la durée de la pose était d'environ quarante secondes. Ces remarquables épreuves figurèrent à l'Exposition universelle de Londres en 1851. La découverte du procédé au collodion fit abandonner les essais de photographie lunaire qui avaient été tentés sur papier ou sur albumine.

Warren de la Rue obtint, en 1852, les premières images de la Lune par le procédé du collodion; il se servait d'un télescope dont le miroir avait 0^m33 d'ouverture et 3^m05 de distance focale. Pour suivre le mouvement de la Lune, on manœuvrait la manette de l'instrument de manière à maintenir sur la croisée des fils du chercheur un point remarquable d'un cratère déterminé. En 1857, il fit adapter un mouvement d'horlogerie à ce télescope et obtint des négatifs de 0^m028 de diamètre pouvant être facilement amplifiés une vingtaine de fois en diamètre [3]; il obtint des épreuves stéréoscopiques de la Lune. Il suffit pour cela de faire deux photographies à un intervalle de temps déterminé; les deux images diffèrent alors comme si on les prenait de deux stations éloignées. Warren de la Rue remarqua que des portions de la Lune, également éclairées pour l'œil, n'étaient pas également brillantes au point de vue chimique; les ombres et les lumières ne répondent pas à celles d'un dessin.

Philipps, en juillet 1853, se servit d'une lunette équatoriale de 0^m159 d'ouverture et 3^m35 de distance focale; il employait le procédé au collodion humide. Dès cette époque, il reconnut le grand avantage que présentent, sous le rapport de l'absence de foyer chimique, l'emploi des télescopes à réflexion. J.-B. Reade se servit d'un grand instrument de cette construction; ce télescope avait un miroir de 0^m60 d'ouverture et une distance focale de 23^m49. Un tel instrument n'étant pas facilement maniable, on avait dis-

1. Arago, *Œuvres*, VII, pp. 458, 498.
2. H. Draper, *On the construction of a silvered glass telescope...*, p. 33.
3. *Report. British. Association*, sept. 1859, p. 130.

posé la plaque sensible sur un châssis spécial, mobile, dans une coulisse convenablement orientée, à l'aide d'une vis micrométrique permettant de donner à ce châssis une vitesse égale à la vitesse apparente de l'image lunaire; le négatif obtenu [1] avait un diamètre d'environ 0m23.

Crookes et Edwards [2] ont obtenu, de 1854 à 1856, des photographies de la Lune; ils se servaient d'un équatorial de 0m203 d'ouverture, l'objectif avait 3m90 de distance focale. Le temps de pose, grâce à la préparation d'un collodion très rapide, put être réduit à quatre secondes [3].

Bertsch et Arnault [4] essayèrent de photographier une éclipse de Lune en 1857; mais les défauts du mécanisme de la lunette employée (l'objectif avait 0m52 d'ouverture et 15 mètres de distance focale) les empêchèrent d'obtenir des images suffisamment nettes. Le temps de pose était de dix secondes.

Grubb employa une lunette équatoriale de 0m32 d'ouverture et 6m10 de distance focale. Des négatifs portant une image de 0m53 de diamètre étaient obtenus en vingt secondes environ. La disposition donnée à la chambre noire était toute spéciale : elle était posée sur une coulisse perpendiculaire à l'axe de la lunette et mobile à l'aide d'un appareil d'horlogerie qui lui communiquait un mouvement de translation lui permettant de suivre le mouvement de la Lune en déclinaison; l'horloge de l'équatorial était réglée sur le mouvement de la Lune en ascension droite. Plus tard, en 1868, Grubb [5] se servit du grand télescope de Cassegrain qu'il avait construit pour l'Observatoire de Melbourne. Le miroir de ce télescope mesure 1m20 de diamètre et 7m50 de foyer; la surface sensible était formée par du collodion bromoioduré. L'inconvénient que présente ce système de télescope pour la photographie lunaire a été signalé par Rutherfurd en 1861. Les faibles ébranlement communiqués accidentellement au miroir produisent une altération dans la netteté de l'image, altérations dont l'effet est doublé par la réflexion de la lumière.

Fry constata, en 1857, que la température avait une influence assez sensible sur la position du foyer chimique de l'objectif; il se servait d'une lunette munie d'un objectif de 0m22 d'ouverture et 3m15 de distance focale.

Les plus remarquables photographies de la Lune furent obtenues, de 1858 à 1870, par M. Rutherfurd. Les images qu'il obtint d'abord avec une lunette de 0m285 d'ouverture dont le foyer chimique différait de 0m018 du foyer lumineux lui parurent défectueuses; il diaphragma son objectif; les images étaient alors meilleures, mais n'étaient pas exemptes de défauts. Il chercha donc à achromatiser son objectif en interposant des lentilles correctrices entre l'objectif et le foyer principal. Le centre de l'image s'améliorait [6], mais le champ était trop courbe. Il renonça alors à l'emploi des objectifs et employa un télescope de Cassegrain, auquel il ne tarda pas à reconnaître les défauts du manque de stabilité. Il se décida alors à cons-

1. *Report. British. Association*, septembre 1854, II, p. 10.
2. *Ibid.*, p. 66.
3. *Proceding of R. Society London*, VIII, 1857.
4. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1856, p. 302
5. *Ibid.*, 1868, p. 200.
6. *Americ. Journ. of Science*, XXXIX, mai 1865.

truire un grand objectif spécial pour la photographie. Il employa le procédé suivant pour rechercher l'achromatisme photographique : l'image d'une étoile, au foyer d'un objectif parfait, doit être un point, le sommet de tous les cônes imaginables ayant pour base l'objectif entier ou seulement une partie de cet objectif. La lumière émanée de ce point supposé placé sur la face d'un prisme doit donner pour image une ligne rouge à l'une de ses extrémités, violette à l'autre, et présentant entre ces deux régions la série des couleurs de l'arc-en-ciel. Si cependant les rayons des différentes couleurs ne sont pas tous concentrés au même foyer, le spectre ne sera plus une ligne; mais, pour les couleurs non corrigées, il s'élargira en forme de pinceau d'une largeur égale à celle du cône coupé par la surface du prisme considéré. Un simple regard sur le spectre d'une étoile indiquera que les couleurs du spectre sont limitées par des lignes parallèles et par conséquent convergent au même point, et aussi quelles sont celles qui ne satisfont pas à cette condition et quelle est la quantité de l'erreur. Avec ce mode d'examen, Rutherfurd reconnut que l'achromatisme chimique pouvait être obtenu en combinant, avec un crown déterminé, un flint calculé pour donner une distance focale plus courte d'un dixième que celle que l'on obtiendrait avec le flint nécessaire à l'achromatisme optique. Il construisit, en employant le mode d'essai qu'il avait trouvé, un objectif de 0^m29 d'ouverture; mais cet instrument ne pouvait servir à l'observation directe. On peut cependant, avec un objectif ordinaire, obtenir l'achromatisme pour les rayons chimiques en plaçant en avant de la lentille biconvexe un ménisque de flint formant une lentille concavo-convexe.

Les négatifs de la Lune obtenus par Rutherfurd avec son objectif de 0^m33 d'ouverture avaient 0^m180 de diamètre environ. Ces négatifs avaient fourni une épreuve positive d'égale grandeur, et ce positif était agrandi à l'aide d'un appareil d'agrandissement. Le temps de pose nécessaire pour obtenir ces négatifs avait varié d'un quart de seconde dans la pleine Lune à deux secondes pour le premier ou le dernier quartier. Les épreuves obtenues par Rutherfurd sont d'une netteté remarquable; mais pour obtenir cette netteté, la mise au point (qui se fait sans l'aide de l'œil, puisque l'objectif, avec ses trois verres, ne vaut rien pour la vision directe), s'obtient au moyen de vis micrométriques fixées sur la monture de l'objectif, de thermomètres fixés au tube de la lunette pour en donner la température et par suite la dilatation, et d'une table numérique indiquant la position de l'objectif à chaque degré de température.

H. Draper[1] commença ses travaux de photographie astronomique par la construction d'un miroir de verre de 0^m40 de diamètre. Ce miroir, parabolisé par une méthode analogue à celle de Foucault, fut argenté et disposé dans une monture de télescope de Newton, l'image focale étant rejetée sur l'un des bords du tube où elle était recueillie sur une plaque de collodion humide; les négatifs de 0^m032 de diamètre étaient ensuite agrandis par des systèmes optiques particuliers dans lesquels n'entraient que des miroirs sphériques. Plus tard, H. Draper fabriqua un miroir de verre de 0^m72 de diamètre, 3^m75 de distance focale, qu'il combina avec un miroir de 0^m20 de diamètre et 0^m74 de distance focale pour former un télescope de la disposition

1 *Smithsonian Contribution*, juillet 1864, p. 2.

de Cassegrain : il obtint de très belles photographies de la Lune avec cet instrument, qui fut plus tard consacré à la photographie du spectre des étoiles.

A. Neyt [1] avait adopté un dispositif particulier pour obtenir les photographies de la Lune. Un miroir de 0^m24 d'ouverture et de 1^m60 de distance focale était monté à la manière des télescopes de Foucault ; l'image était renvoyée latéralement par un prisme ; elle était reçue sur la plaque sensible en la grossissant légèrement au moyen d'une lentille négative. Il obtenait des négatifs de 0^m025 de diamètre qu'il transformait en positifs agrandis au diamètre de 0^m05 ; le positif ainsi produit était agrandi plus ou moins et fournissait un négatif servant au tirage des épreuves positives.

Ellery [2], en 1873, a repris à Melbourne l'emploi du grand télescope de Grubb pour l'obtention de photographies lunaires ; les images qu'il a obtenues sont remarquablement belles.

On a essayé de photographier la Lune avec la lunette de Washington, ayant un objectif de 0^m65 de diamètre, mais les images obtenues n'ont pas été satisfaisantes. Des expériences semblables ont été tentées avec la lunette de Struve, et les insuccès survenus dans ces travaux ont permis d'annoncer que si l'on faisait les mêmes essais [3] avec le grand équatorial de Lick on ne réussirait pas mieux. Les principes sur lesquels sont construits ces instruments sont différents de ceux qui président à la construction des objectifs photographiques ; ils ne peuvent donc, si on les emploie avec toute leur ouverture, donner une belle image photographique. On peut cependant obtenir des photographies passables avec n'importe quelle lunette. Remarquons que puisque, d'après la théorie, l'aberration longitudinale varie comme le carré de l'ouverture, on pourrait obtenir des photographies passables avec des équatoriaux ordinaires si l'on employait sur l'objectif un diaphragme qui réduirait suffisamment l'ouverture. C'est ce que Rutherfurd a constaté en 1858 avec son objectif de 0^m285 d'ouverture.

Les photographies obtenues dans ces dernières années à l'Observatoire du Mont-Hamilton, en se servant du grand équatorial, ont 0^m14 de diamètre. Certaines de ces images sont moins bonnes que celles qui avaient été obtenues à l'aide d'instruments moins puissants. D'après Prinz [4], cela tient à deux causes : 1° à une minime différence dans la marche de la lunette, qui ne saurait du reste suivre le mouvement propre de la Lune ; 2° au peu de finesse de la substance qui constitue l'image photographique. La première cause d'insuccès peut être écartée par l'emploi de matières suffisamment sensibles, telles que le gélatino-bromure ; mais les images obtenues en se servant des plaques rapides possèdent un grain si considérable que lorsque le négatif est terminé on ne peut souvent l'amplifier plus de quatre à cinq fois, ce qui, pour un négatif de la Lune ayant 0^m03 de diamètre, correspond à un grossissement de quatre-vingts fois environ à la lunette. On peut, dans des conditions atmosphériques exceptionnelles, se servir pour l'observation

1. *Bulletin de l'Académie des sciences de Bruxelles*, 1869, et *Bulletin de la Société française de photographie*, 1869, p. 278.
2. *Monthly Notices*, 1873, XXXIII, p. 229.
3. *Aide-mémoire de photographie pour* 1885, p. 111.
4. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1889, p. 703.

directe d'un grossissement de cinq cents fois, et dans ces conditions l'avantage peut rester aux très rares observations faites par un ciel exceptionnel. Mais si l'on opère par le procédé du collodion, les négatifs ont peu de grain et peuvent supporter une amplification de vingt diamètres. Cette amplification pourra être plus considérable encore si le négatif est fait sur collodion albuminé; mais le collodion nécessite une longue pose et l'on se trouve précisément devant l'inconvénient que permet d'éviter l'emploi du gélatinobromure par sa sensibilité. Prinz, et beaucoup d'astronomes avec lui, trouvent que, tous comptes faits, l'avantage reste au collodion employé autrefois par Warren de la Rue et Rutherfurd. Ce dernier avait obtenu de tels résultats avec un objectif spécialement destiné à la photographie qu'il décida Wales[1] à construire des objectifs de microscope spécialement corrigés pour le foyer chimique. Prinz a proposé d'employer ces objectifs à la photographie astronomique. Hartnack a fait calculer par Schröder un instrument tenant le milieu entre l'objectif microscopique faible et l'objectif photographique ordinaire, utilisé souvent comme objectif à projection. Cet objectif, très lumineux, permet la projection d'objets ayant 3 à 4 centimètres de diamètre; il est applicable à la photographie de la Lune; l'image formée au foyer de l'objectif astronomique peut être reprise par cet objectif. Avec un agrandissement de quatre diamètres pour une image de $0^{m}028$, Prinz a obtenu une bonne épreuve en moins de deux secondes; il n'y a donc pas à tenir compte de l'irrégularité du mouvement d'horlogerie ni du déplacement de l'astre.

Les frères Henry ont récemment obtenu[2] par ce procédé les plus belles photographies de la Lune qui aient été faites jusqu'à présent; avec un oculaire à grande ouverture projetant l'image formé au foyer de leurs excellents objectifs, on obtient de splendides images.

Ce mode d'utilisation des objectifs est, en somme, à peu près identique à celui employé par H. Vogel à l'Observatoire de Bothkamp[3] pour photographier le Soleil. Par suite de l'éclat relativement faible de la Lune, l'oculaire projecteur doit être construit pour obtenir des images très brillantes.

§ 4. — PHOTOGRAPHIE DES ÉCLIPSES.

926. Éclipses de Soleil. — Les photographies d'éclipses de Soleil peuvent être obtenues à l'aide de tous les procédés qui permettent de photographier cet astre; il faut seulement modifier le temps de pose s'il s'agit de photographier les phénomènes singuliers que l'on aperçoit autour de la Lune à l'instant des éclipses totales de Soleil. La photographie est la seule méthode pratique permettant de fixer avec exac-

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1876, p. 252.
2. *Comptes rendus*, 1890, I, p. 981.
3. H. Vogel, *Beobachtung angestellt auf der Sternwarte des Kammerhernn von Bülow zu Bothkampf*, I, p. 77.

titude ces phénomènes qui ne durent que quelques minutes et qui se produisent si rarement. Pour ces sortes de travaux, l'emploi des plaques orthochromatiques au collodio-bromure ou, à défaut, au gélatino-bromure, donne de meilleurs résultats que tout autre procédé. Si l'on photographie en projetant l'image sur la plaque sensible à l'aide d'un oculaire de projection il faut éviter de projeter une image trop grande afin d'obtenir un temps de pose aussi court que possible; la dimension du diamètre solaire doit être aussi réduite que possible, car dans ce cas ce que l'on cherche à étudier par la photographie ce n'est pas tant la surface solaire : on veut obtenir des documents permettant d'avoir des notions exactes sur la très vaste atmosphère qui enveloppe le soleil.

927. Éclipses de Lune. — Les éclipses de Lune sont loin de présenter un intérêt aussi considérable que les éclipses de Soleil. Il est incontestable cependant que la photographie de ces phénomènes pourrait donner quelques renseignements spéciaux sur la constitution de la surface lunaire par les variations d'éclairage qui se produisent au moment d'une éclipse; mais la photographie des éclipses de Lune n'a jusqu'à présent fait l'objet que d'un petit nombre de travaux.

928. Historique. — Les premières reproductions photographiques d'éclipses de Soleil sont dues à Majocchi. L'éclipse du 8 juillet 1842 fut photographiée par lui à Milan. Il opérait par le procédé de Daguerre. Il ne réussit pas à photographier la couronne qui devint visible pendant la totalité de l'éclipse. Le papier préparé au bromure d'argent ne donne aucun résultat.

En 1850, l'Association britannique[1] chargea une Commission, composée de sir J. Herschell, Airy, Forbes, Powel et O. Struve, de préparer des instructions pour les observations de l'éclipse du 28 juillet 1851. Dans ses instructions, cette Commission engageait vivement les astronomes à employer la photographie et faisait remarquer que des plaques de différente sensibilité doivent être employées aux diverses phases de l'éclipse, car la lumière du soleil non éclipsé est extrêmement intense et celle de la couronne qui enveloppe la Lune, ou celle des flammes rouges qui se projettent sur elle, excessivement faible. Ces instructions furent suivies par le R. P. Secchi[2], qui opéra sur plaque d'argent d'après les procédés du daguerréotype. L'image solaire formée par un objectif portant un diaphragme de 0m065 était projetée par l'oculaire jusqu'à présenter un diamètre de 0m075. Busch et Berkowski[3]

1. *Report... British Association*, Édimbourg, 1850, p. 359.
2. *Comptes rendus*, 8 sept. 1851.
3. *Beobachtungen von Sternwarte in Königsberg*, XXVIII, p. 17.

réussirent à obtenir une belle reproduction de la couronne de cette éclipse et des principales protubérances; l'exposition dura quatre vingts secondes sur une plaque préparée à l'iodure d'argent.

Les éclipses de 1852 et 1857 ne donnèrent aucun résultat intéressant. Celle du 7 septembre 1858 fut photographiée dans l'Amérique du sud par M. Liais[1]. Porro, qui en 1851 avait obtenu une photographie de l'éclipse à l'aide d'un petit objectif à paysage muni d'un verre concave[2], disposa son grand équatorial pour photographier l'éclipse partielle du 15 mars 1858. Il se servait d'une lunette de 15 mètres de longueur focale. L'objectif de 0m52 de diamètre avait son ouverture considérablement réduite par un diaphragme; près du foyer était tendu un fil horizontal. Au foyer même était fixé un châssis double dont l'une des arêtes était parallèle au mouvement diurne. La partie fixe de ce châssis portait une plaque au collodion sec préparée par Quinet; la partie mobile faisait écran. A un signal donné, cet obturateur, lancé avec rapidité par un ressort, découvrait la couche sensible pendant une très minime fraction de seconde. Faye, en présentant à l'Académie des sciences les photographies obtenues par Porro et Quinet, a montré la précision que l'on peut attendre de la photographie, non plus dans les éclipses seulement, mais encore pour l'observation journalière du soleil au méridien et la détermination précise des éléments de sa rotation; ces résultats permettaient d'affirmer que dès cette époque on pouvait substituer la photographie à presque toutes les observations méridiennes des planètes et des étoiles fondamentales[3].

L'éclipse du 18 juillet 1860 a fourni des photographies extrêmement remarquables; elle fut photographiée en Europe et en Amérique. M. Faye avait pour les précédentes éclipses[4] indiqué la construction d'un appareil destiné à enregistrer automatiquement certaines particularités de l'éclipse. Cet instrument se compose essentiellement d'une chambre photographique ordinaire où la plaque sensible est remplacée par une bande de papier collodionné se déroulant à raison de 0m02 par seconde; sur ce papier, l'image du Soleil trace une bande noire qui disparaît à l'instant de l'obscurité totale et qui reparaît en même temps que le Soleil. Le pendule d'une sorte d'horloge-compteur, placé au-dessus du papier, vient interrompre à chaque seconde l'impression photographique, et marque ainsi les temps écoulés sur la bande elle-même. L'opération terminée, l'opérateur n'a plus qu'à faire apparaître l'image par les procédés ordinaires et à lire sur la bande la position des points où l'image finit et recommence: il obtient ainsi, avec une précision extrême, les instants du phénomène astronomique. Lorsque cet appareil est en marche, l'observateur, débarrassé de tout souci astronomique, peut se livrer entièrement à l'étude physique de l'éclipse.

Deux Commissions françaises furent chargées d'observer l'éclipse de 1860. L'une d'elles, conduite par Le Verrier[5], obtint quelques photographies de la couronne grâce à l'habileté de L. Foucault, chargé de la partie photographi-

1. *Astronom. Nachrichten*, XLIX, p. 293.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1858, pp. 93, 116, 132.
3. Faye, *Comptes rendus*, 1858.
4. *Ibid.*, 25 janvier et 18 mars 1858.
5. *Moniteur universel*, 29 juillet 1860.

que de l'expédition. Cet ingénieux physicien, qui était habitué depuis de longues années aux manipulations photographiques, avait fait monter équatorialement une chambre noire ordinaire pourvue d'un objectif double à large ouverture et à court foyer; l'appareil portait un chercheur; on pouvait maintenir à la main l'astre sur la croisée des fils de l'oculaire, et, par suite, son image immobile sur la plaque collodionnée. Foucault obtint six impressions, dont trois accidentelles. Tout était disposé pour obtenir trois images en des temps de pose de dix, vingt et soixante secondes; mais, dans la précipitation des manœuvres, des déplacements ont été involontairement imprimés au châssis qui portait la première plaque alors que l'objectif était déjà démasqué. Il en est résulté trois images qui se sont formées en des temps très courts et qui n'offrent pas une représentation complète de l'auréole; les trois autres montrent la couronne, et la grandeur de celle-ci croît avec le temps de pose. L'épreuve obtenue en soixante secondes montre l'auréole s'étendant à une distance égale à trois fois le rayon du disque central. Suivant certaines directions particulières, cette auréole offre dans son intensité des variations positives et négatives qui figurent les rayons d'une gloire. La seconde Commission (nommée par le Ministre de la Guerre, le 19 juin, un mois avant l'observation du phénomène) était composée de MM. Laussédat, professeur de topographie à l'École polytechnique; Bour, Manheim, Salicis, répétiteurs, et A. Girard, conservateur de chimie à la même école. M. Laussédat[1] avait voulu adapter une chambre noire à la lunette de Cauchoix, dont l'objectif avait 0^m07 de diamètre et 0^m70 de distance focale; mais le temps nécessaire pour établir cette installation faisant défaut, on disposa la lunette horizontalement, suivant une orientation déterminée (est-ouest); les rayons solaires étaient renvoyés dans la lunette à l'aide du miroir plan d'un héliostat. Une petite chambre noire de 0^m14 de côté sur 0^m30 de longueur, et dans laquelle pénétrait le tube de la lunette, se trouvait fixée sur une planchette; l'image solaire était projetée sur la couche sensible à l'aide de l'oculaire; le disque du Soleil mesurait sur la plaque 0^m05 de diamètre. Entre l'héliostat et l'objectif, et presque au contact de ce dernier, mais complètement isolé de l'appareil, on avait disposé sur un pied un obturateur instantané, se fermant au moyen d'un volet à chute libre, muni d'une raimure dont on pouvait à volonté faire varier l'ouverture. Cet instrument permettait d'obtenir des temps de pose très différents et ne pouvait, pendant son fonctionnement, communiquer aucun déplacement à la lunette. Cette installation[2] est d'une remarquable simplicité; elle a été adoptée depuis 1870 à Harvard College pour obtenir des photographies solaires. Les missions françaises ainsi qu'une partie des missions américaines et anglaises, envoyées pour observer le passage de Vénus sur le soleil, en 1874, ont adopté l'appareil de M. Laussédat. On y a trouvé le double avantage d'éviter l'emploi des incommodes et coûteuses montures parallactiques et d'obtenir de plus grandes images du Soleil en augmentant autant qu'on le voulait la distance focale des lunettes sans inconvénient sensible dans la manœuvre des appareils. C'est évidemment le meilleur système d'observation et de photographie qu'on pourra adopter dans l'avenir pour toutes les

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1860, p. 295.
2. Voir Faye, *Comptes rendus*, 1860.

études de la physique solaire[1]. La difficulté qu'il y avait autrefois d'obtenir des miroirs plans d'une surface de trois pouces sur six n'existe plus aujourd'hui ; on possède des méthodes de travail très perfectionnées. La mission de M. Laussédat employa le procédé Taupenot au collodion albuminé pour la reproduction des phases partielles de l'éclipse; il suffisait d'une fraction de seconde pour obtenir une bonne image ; l'emploi du collodion humide était réservé à la photographie de la couronne. Les négatifs obtenus sur collodion albuminé sont d'une finesse remarquable.

Maxwel-Lyte et Michelier ont photographié cette même éclipse dans les Pyrénées à une altitude de 2,400 mètres[2]. MM. Lamey et Goulier[3], à Metz, Vernier fils, à Belfort, Trutat et Bianchi, à Toulouse, ont aussi photographié cette éclipse.

Le P. Secchi observa ce phénomène au Desierto de las Palmas. La lunette de Cauchoix, de l'Observatoire du Collège romain (ouverture, 0m162, distance focale, 2m50), avait été transformée en instrument photographique. M. Monserat, professeur de chimie à l'Université de Valence, était chargé de la partie photographique ; il obtint cinq épreuves des protubérances et de la couronne. Ces images, qui n'ont que 0m15 de diamètre, sont extrêmement fines et ont montré que les protubérances, mobiles par rapport au disque lunaire, étaient bien des flammes appartenant au Soleil.

Warren de la Rue photographia l'éclipse du 18 juillet 1860 avec l'héliographe de Kew; il obtint[4] à Rivabellosa, dans la vallée de l'Èbre, trois épreuves qui montrent à la fois les protubérances et la partie inférieure et circulaire de la couronne. Cette partie inférieure de la couronne se montre aussi dans les trois épreuves au collodion faites par MM. Duchochois et W. Thompson, chargés du service photographique de la mission américaine qui s'était rendue dans le Labrador pour observer la même éclipse; les images étaient obtenues au foyer d'une lunette qui avait 1m85 de distance focale[5].

En résumé, il ne fut pas possible d'obtenir dans cette éclipse une représentation complète des rayons de la gloire ; il en fut de même pour l'éclipse du 18 août 1868. H. Vogel, chargé de photographier le phénomène à Aden, vit ses opérations contrariées par le mauvais temps; il obtint cependant de bonnes reproductions des protubérances[6]. Le colonel Tennant et le sergent Philipps, qui avaient établi leur station à Guntoor, ne purent obtenir que de faibles traces de la couronne, malgré une exposition de dix secondes au foyer d'un télescope à réflexion de 0m23 de diamètre et de 1m40 de distance focale.

C'est pour la première fois, en 1869, pendant l'éclipse du 7 août, que furent obtenues de bonnes images de la couronne. Winlock et Wipple[7] obtinrent d'excellentes photographies, en quatorze secondes de pose, au foyer

1. Mouchez, *La Photographie à l'Observatoire de Paris*, p. 102.
2. *Comptes rendus*, 30 juillet 1860.
3. *Ibid.*, 23 juillet 1860.
4. *Philosophical Transactions*, 1862.
5. *Coast Survey Report for*, 1861.
6. *Vierteljahrschrift der Astronomischen Gesellschaft*, VII, p. 241.
7. *Coast Survey Report for*, 1869.

du petit équatorial d'Harvard College (ouverture 0m14, distance focale 2m30). A. Mayer, Himes, Browne et Baker[1] ont obtenu par agrandissement de l'image formée au foyer de diverses lunettes des reproductions plus ou moins complètes de la couronne.

Brothers[2] fit à Syracuse des photographies de l'éclipse du 22 décembre 1870; il employa le procédé indiqué par Foucault dix ans auparavant, et se servit d'un objectif photographique de Dallmeyer ayant 0m102 d'ouverture et 0m76 de distance focale. Les photographies obtenues avec un temps de pose de huit à quinze secondes sont fort belles et rendent toutes les apparences que l'on peut apercevoir par l'observation directe. Le même procédé opératoire fut adopté pour l'éclipse du 12 décembre 1871 par Davis[3] à Baïkul et par Watherouse et Hennessy à Dodabetta[4]. Dans ces deux stations, on se servit d'objectifs *rapides rectilinéaires* de Dallmeyer (**77**) de 0m102 d'ouverture et 0m835 de distance focale ; ces objectifs étaient montés sur une lunette équatoriale pourvue d'un mouvement d'horlogerie. Les images obtenues au collodion humide à l'aide de ces objectifs n'ont pas plus de 0m008 de diamètre; elles ont nécessité des temps de pose variant entre cinq et quarante secondes. Toutes sont d'une merveilleuse netteté; elles montrent dans la couronne, qui s'étend jusqu'à 20′ ou 25′ d'arc au-dessus du bord du soleil, une multitude de détails dont l'existence réelle ne saurait être douteuse, puisqu'ils sont reproduits dans les deux séries d'images. Toutes ces photographies montrent qu'avec le procédé du collodion humide c'est à la méthode de Foucault que l'on doit avoir recours pour photographier la couronne. Foucault s'était servi, en effet, d'un objectif à portraits dont la distance focale est d'environ quatre fois le diamètre. Avec les collodions que l'on emploie aujourd'hui, il y a tout avantage à se servir des rectilinéaires rapides dont la distance focale est égale à huit à neuf fois le diamètre ; ces objectifs sont d'un maniement plus facile que les grands objectifs à portraits; on est d'ailleurs obligé de donner à ces instruments une distance focale de 0m75 à 1 mètre pour que l'image solaire ne soit pas trop petite (**833**, p. 149).

L'éclipse partielle du 26 mai 1873 a été photographiée par M. Cornu et a permis à cet éminent physicien d'obtenir des résultats nouveaux qui ont été mis à profit pour l'observation du passage de Vénus sur le Soleil.

L'éclipse solaire de mai 1887 a été photographiée par M. Janssen, qui avait déjà obtenu en 1883 de grandes photographies de la couronne et des régions avoisinantes jusqu'à 15° de distance. Rien sur l'épreuve photographique n'indique une atténuation quelconque de la transition du disque sombre de la lune au disque lumineux du soleil. Les photographies viennent donc corroborer l'opinion généralement admise par les savants qu'il n'y a pas d'atmosphère lunaire, ou que, s'il en existe une, elle est tellement faible qu'elle ne saurait produire aucun résultat appréciable sur une plaque sensible. S'il existait une atmosphère lunaire ayant quelque importance, il est bien certain que cette couche de gaz ou de vapeur produirait des effets

1. *Memoirs of the R. Astronomical Society*, XLI, pp. 607 et suiv.
2. *Ibid.*, p. 648.
3. *Ibid.*, p. 702.
4. *Ibid.*, XLII.

d'absorption et de réfraction qui se traduiraient sur l'image par un adoucissement de la ligne circulaire de séparation des deux disques; or, il n'en est rien, la ligne de séparation est absolument nette.

W. Huggins, en modifiant la durée du temps de pose et en employant le gélatino-chlorure d'argent, est parvenu à photographier la couronne solaire. Il avait essayé d'isoler la partie du spectre comprise entre C et H; dans ce but, il avait d'abord employé un verre violet, puis une dissolution de permanganate de potasse; mais il n'a pas tardé à renoncer à l'emploi des milieux absorbants, parce que le chlorure d'argent est très sensible aux rayons voisins de H. La couronne solaire a d'ailleurs été photographiée en 1884 par Zenger. En se servant d'un appareil astrophotographique construit par Browning, il a obtenu l'image de la chromosphère lorsque le ciel était très pur; il a même photographié un halo solaire très vivement coloré, avec toutes les couleurs visibles à l'œil nu.

M. Janssen [1] a indiqué l'emploi du revolver photographique comme permettant l'observation des contacts dans une éclipse solaire. Un instrument de ce genre donnant une douzaine d'images solaires de 0m06 à 0m10 de diamètre, prises à une seconde d'intervalle, conduirait très sûrement et très simplement au résultat. Par l'observation optique, ces contacts ne peuvent être observés avec précision en raison de la faible déformation du disque solaire au moment où celui de la Lune, qui est du même ordre de grandeur, l'entame à peine. Avec le revolver, on obtient une série d'épreuves dont plusieurs se rapportent à ce moment critique. Ces épreuves peuvent être examinées à loisir, et l'astronome peut se déterminer avec toute sécurité sur l'instant du contact; ces épreuves permettent aussi des mesures sur les progrès des mouvements relatifs des deux astres en fonction du temps. Des images du phénomène prises à des instants déterminés pourront permettre aussi de fixer la position des deux astres à une époque quelconque. Si la granulation solaire est bien visible sur cette épreuve, elle permettra d'étudier la question de l'atmosphère lunaire; si le globe lunaire est absolument dépouillé de toute couche gazeuse, la granulation solaire conservera ses formes et son aspect jusqu'au bord occultant lunaire; si, au contraire, une couche gazeuse de quelque importance se trouve interposée, elle agira dans les conditions les plus favorables pour produire des déformations par réfraction. L'existence et la valeur de ces déformations des éléments granulaires au bord occultant de la Lune deviendront dans ces circonstances des critériums très sûrs de la présence et de la densité de cette atmosphère.

Les photographies d'éclipses, comme l'a fait remarquer M. Janssen, peuvent servir à déterminer la hauteur des montagnes lunaires situées au bord du limbe de cet astre, c'est-à-dire des montagnes qui occupent une région où les mesures par les procédés actuels sont les plus difficiles et les plus incertaines. En effet, la photographie du bord solaire échancré par la Lune nous donne le relief de tous les accidents de terrain de notre satellite qui se projettent sur le Soleil. La mesure de ces reliefs s'obtient de la manière la plus simple et la plus sûre en comparant micrométriquement leur grandeur à celle du disque solaire; on en déduit ensuite l'angle sous lequel ils sont

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1880, p. 107, et *Comptes rendus*, 1880.

vus de la terre et par suite leur grandeur réelle. Il faudra déterminer par la libration quels sont les cirques du globe lunaire qui se projetaient sur le ciel suivant leur vraie grandeur au moment où les photographies ont été prises. Certaines de ces applications ont été étudiées par M. Janssen lors de l'éclipse solaire du 19 juillet 1880. Les photographies sur lesquelles on voit les granulations n'accusent pas de différences sensibles sur le bord de la Lune.

M. de La Baume-Pluvinel a été envoyé en mission par le Ministère de l'Instruction publique et l'Observatoire de Meudon[1] pour observer l'éclipse du 22 décembre 1889. Il a obtenu des photographies de la couronne et du spectre ; il a en même temps fait des observations destinés à donner une mesure photométrique par la photographie de l'intensité lumineuse de la couronne. Le même observateur a photographié à Candie[2] l'éclipse solaire du 17 juin 1890. Il se proposait d'obtenir de l'éclipse pendant la phase annulaire une série de photographies sur plaques argentées pouvant se prêter à des mesures de diamètres des astres en conjonction. Il s'est servi dans ce but d'une lunette de Steinheil donnant, avec oculaire projecteur, des images solaires de 0^m10. D'après les indications de M. Janssen, il a obtenu le spectre photographique de l'anneau au moment où il est réduit à une petite épaisseur pour voir si le spectre de l'extrême bord du disque solaire présente les raies de l'oxygène. Ce spectre[3] n'a présenté aucune différence avec le spectre ordinaire du Soleil. M. de La Baume-Pluvinel a constaté sur ses photographies que le bord lunaire était très net et que dans le voisinage de ce bord les granulations de la surface solaire n'étaient pas modifiées, ce qui prouve l'absence d'une forte atmosphère lunaire.

La photographie des éclipses de Lune a été plusieurs fois tentée ; jusqu'à présent, elle n'a donné lieu à aucun résultat intéressant.

§ 5. — PHOTOGRAPHIE DES PLANÈTES.

929. Procédé opératoire. — La photographie a été appliquée à l'étude des planètes. Mais ces dernières ont un pouvoir photogénique moins considérable que celui des étoiles ; de plus, à cause du faible diamètre apparent des planètes, leur image est très petite et doit être agrandie ou bien examinée à l'aide du microscope. Pour ces sortes de travaux, il est nécessaire d'employer soit un objectif, soit un télescope à longue distance focale ; il faut, de plus, que l'atmosphère soit très tranquille et que le mouvement d'horlogerie de l'instrument soit aussi bien réglé que possible, condition difficile à réaliser avec les instruments à très longue distance focale. Si l'image

1. *Comptes rendus*, 1890, I, p. 118.
2. *Ibid.*, 1890, I, p. 1290 et 1317.
3. *Ibid.*, 1889, I, p. 1354.

doit être agrandie, le procédé au collodion est le seul qui permette d'obtenir des épreuves absolument nettes. Les photographies sur plaque rapide au gélatino-bromure ne supportent pas un agrandissement de plus de quatre fois, ce qui est généralement insuffisant pour apercevoir avec netteté tous les détails que l'on cherche à reproduire par la photographie.

Il est regrettable que ces diverses conditions soient difficiles à réaliser; car la photographie pourrait être utilement employée à donner la position simultanée des satellites autour de leur planète; mais ces satellites sont d'éclat très différents et sont considérablement moins brillants que la planète. On comprend donc qu'en cherchant à photographier les planètes pour étudier leurs satellites on greffe des difficultés de reproduction photographique sur des difficultés d'adaptation des appareils.

Envisagée à ce point de vue, la photographie des planètes est certainement la branche la plus difficile de la photographie astronomique. Il faut, en effet, employer des couches sensibles donnant des images très fines, il faut de plus que ces couches soient très sensibles pour permettre d'une part aux petits satellites de s'imprimer et pour éviter d'autre part le défaut de netteté produit par les irrégularités du mouvement d'horlogerie; ces diverses conditions semblent s'exclure. Ce n'est pas tout. S'il s'agit de comparer la position du satellite à celle de la planète, on se heurte à de nouvelles difficultés : au développement, l'image de la planète, extrêmement brillante, apparaît avant que l'image du petit satellite se soit révélée; lorsque cette dernière se montre, les contours de la planète sont diffus et considérablement élargis. On ne peut éviter cet insuccès qu'avec les plus grands soins pendant le développement.

En l'état actuel, le meilleur procédé applicable à la photographie des planètes paraît être le procédé Taupenot, avec bromure dans le collodion combiné avec l'emploi d'un révélateur alcalin *faible* au pyrogallol ou à l'iconogène. Les plaques bien préparées par ce procédé sont aussi sensibles que celles obtenues par le collodion humide. En se servant d'un révélateur alcalin *faible*, contenant assez de sulfite pour empêcher le jaunissement de la plaque et prolongeant l'opération pendant un temps assez long, à une température suffisamment élevée (25° C), l'image se développe complètement, mais sans intensité. On évite assez facilement les défauts que nous avons énumérés et qui empêchent toute mesure précise ou tout agrandisse-

ment; il est à remarquer d'ailleurs que les négatifs directs des planètes n'ont pas besoin d'être intenses, puisqu'ils sont destinés à être agrandis ou bien à obtenir des mesures.

L'emploi d'un grand équatorial coudé, ou d'un grand télescope Cassegrain, serait avantageux pour obtenir l'image des petites planètes. Le dispositif qui consiste à agrandir l'image focale à l'aide d'un oculaire projecteur peut fournir de bons résultats pour l'étude physique de la surface des planètes à la condition que le mouvement d'horlogerie soit très bien réglé et que l'atmosphère soit très pure, circonstance que l'on peut rencontrer dans les Observatoires de montagne.

930. Historique. — Les photographies de planètes n'ont été faites d'une manière suivie que par Warren de la Rue. Cet habile astronome a obtenu des photographies de Jupiter avec ses bandes, Saturne avec son anneau, et Mars avec sa surface irrégulière; les temps de pose ont varié de quelques secondes à plusieurs minutes. Il a même produit les premières épreuves stéréoscopiques de ces planètes. Ce résultat intéressant est assez facile à obtenir; il suffit de prendre deux épreuves dans une position telle qu'une même planète ait tourné d'une faible quantité sur son axe, ou bien de profiter de son mouvement de translation autour du soleil. Deux images de Mars, par exemple, prises à deux heures d'intervalle, correspondent pour cette planète à une rotation de 30°, et deux images de Saturne prises à trois ans et demi d'intervalle donnent une image stéréoscopique par rapport à l'anneau et à la planète[1].

MM. Henry ont photographié Neptune et son satellite. Pour les recherches de petites planètes, il est indispensable d'employer des plaques extrasensibles, dont le développement est par suite assez difficile. Avec les plaques actuelles, d'après MM. Henry, et un appareil de même dimension que celui de l'Observatoire de Paris, une étoile équatoriale de la septième grandeur laisserait sur la couche sensible, par l'effet du mouvement diurne, une trace très nette et apparente de son passage; la longueur de cette trace serait de 0mm90 en une heure de marche. Vers l'époque de son opposition, une petite planète à la distance moyenne, les étoiles moyennes étant maintenues fixes, ne tracerait qu'une ligne de 0mm5, c'est-à-dire mille huit cent fois plus petite que l'étoile; par conséquent, une planète mille huit cent fois plus petite que la septième grandeur, c'est-à-dire de quinzième grandeur, laisserait sur la plaque, à cause de son faible déplacement, une trace linéaire d'intensité et de longueur suffisante pour permettre de la distinguer facilement des étoiles voisines.

Les photographies de Jupiter, Saturne, Vénus, Mars, obtenues sur plaque au gélatino-bromure, ont donné quelques résultats intéressants; en particulier, la tache rouge de Jupiter, les bandes de Saturne ont été photogra-

1. Van Monckhoven, *Traité général de photographie*, 5e édition, p. 382.

phiées par MM. Henry et permettent des déterminations plus précises que celles que l'on peut faire par l'observation directe.

§ 6. — PHOTOGRAPHIE DES COMÈTES.

931. Procédés à employer. — Les comètes sont assez difficiles à photographier, parce qu'elles sont en général peu brillantes. Lorsque ces astres sont voisins de leur perihélie, ils seraient plus faciles à photographier si leur mouvement apparent n'était pas alors rapide, ce qui peut enlever tout caractère de précision à l'image obtenue ; il faut donc opérer rapidement avec des instruments très lumineux. L'emploi des objectifs à portraits, ou des télescopes *à très court foyer*, par rapport à leur ouverture $\left(\frac{f}{3}\text{ à }\frac{f}{4}\right)$, est tout indiqué pour ce travail, de même que celui des plaques très sensibles ; il faut, de plus, se servir d'un chercheur bien réglé pour que la plaque puisse suivre le mouvement apparent de la comète. M. Airy avait imaginé un équatorial à trois axes (*Orbit sweper*), que l'on a employé pendant quelque temps[1], mais dont l'usage paraît abandonné aujourd'hui.

932. Historique. — Warren de la Rue essaya, mais sans succès, de photographier la comète de Donati, en 1858, et la grande comète de 1861 ; il se servit d'un télescope ayant environ 3 mètres de foyer et du procédé au collodion humide. Usherwood parvint à produire en sept secondes un bon négatif de l'ensemble de la comète de 1858 ; il se servit d'un objectif à portraits de court foyer ; la plaque était préparée par le procédé du collodion humide[2].

L'emploi du gélatino-bromure a permis de photographier la grande comète *b* 1881. M. Janssen s'est servi d'un télescope de 0^m50 d'ouverture et de 1^m60 de distance focale : l'intensité lumineuse de l'image est plus considérable que celle obtenue par l'emploi des objectifs ordinaires à portraits. Le mouvement du télescope en ascension droite avait été réglé sur le mouvement diurne de la comète, et le mouvement en déclinaison était compensé par un changement progressif convenable de la distance polaire du télescope. Les épreuves obtenues dans les nuits du 30 juin et du 1er juillet 1881 ont permis de faire de la comète un dessin très exact et très fidèle.

A. Common[3] a employé un télescope de 0^m91 de diamètre et des plaques au gélatino-bromure avec une pose de vingt minutes pour photographier la même comète. Les opérations ont été très gênées par le mouvement rapide de l'astre en déclinaison ; cependant, on peut voir sur la photographie le

1. Van Monckhoven, *Traité général de photographie*, 5e édition, p. 384.
2. *Monthly Notices*, 1859, XIX, p. 138.
3. *Observatory*, IV, p. 232.

noyau, les panaches qui s'en détachent en avant et une portion de la chevelure. Draper[1] a pu reproduire le noyau, ainsi que la nébulosité voisine, et la chevelure sur une longueur de 10° environ.

Gill[2] a obtenu de très belles photographies de la grande comète de septembre 1882; il s'est servi d'un objectif photographique à portraits de 0^m063 d'ouverture et de 0^m28 de foyer; l'instrument était monté sur une chambre noire ordinaire, qui elle-même était fixée sur le tube d'un équatorial. Les épreuves montrent les enveloppes du noyau et une partie de la chevelure ; la durée de la pose a varié de vingt minutes à deux heures.

Rayet[3] a photographié la comète de Brooks. La difficulté que présente cette opération provient du peu d'éclat de la comète qui disparaît dans le chercheur lorsqu'on éclaire le champ de celui-ci, afin d'apercevoir les fils fins sur la croisée desquels on doit maintenir l'astre; on est donc obligé de se servir de gros fils sur champ obscur, ce qui enlève un peu de précision au maintien de la comète sur les mêmes points de la plaque. Trépied[4] a fait les mêmes observations; avec une pose continuée pendant deux heures sur une plaque ayant subi l'insolation préalable pendant 0^s005, il a pu photographier la comète et mesurer sa position par rapport à des étoiles de comparaison qui se trouvaient photographiées sur la même plaque.

Huggins[5] a photographié le spectre de la comète de juin 1881; avec une heure d'exposition, il a réussi à obtenir la trace du spectre continu (sillonné de quelques lignes noires) donné par le noyau et de deux lignes brillantes dues aux enveloppes gazeuses de l'astre.

§ 7. — SPECTROPHOTOGRAPHIE ASTRONOMIQUE.

933. Disposition des appareils; méthode de Draper. — Les premiers spectres d'étoiles reproduits par la photographie étaient obtenus en plaçant un prisme de quartz sur le trajet des rayons lumineux un peu en avant du foyer principal de l'instrument; puis, en 1880, Draper se servit d'un objectif à trois lentilles, possédant l'achromatisme chimique; cet objectif était fixé à une monture équatoriale munie d'un excellent mouvement d'horlogerie à pendule conique. Draper employa plus tard un spectroscope à vision directe muni d'une fente et d'une lentille cylindrique destinée à donner au spectre la hauteur nécessaire à une vision facile des lignes de Fraunhofer; enfin, en juin 1879, il remplaça tous ces systèmes par un spectroscope stellaire de Browning, à deux prismes de flint lourd, d'un angle

1. *Observatory*, IV, p. 239.
2. *Monthly Notices*, XLIII, p. 53.
3. *Comptes rendus*, 1890, I, p. 1026.
4. *Ibid.*, p. 1182.
5. *Observatory*, IV, p. 233.

de 60°. La lunette d'observation et le collimateur avaient une même distance focale de 0m152 et des objectifs de 0m019 d'ouverture ; le tout formait un système aussi rigide que possible. La fente placée au foyer était couverte d'un diaphragme percé en son centre et recouverte d'une substance phosphorescente afin de rendre l'ouverture visible, même pendant l'obscurité.

L'oculaire du spectroscope est remplacé par une chambre noire en bois dans laquelle peut être placée une petite plaque photographique ; derrière la plaque et dans la portion sur laquelle se projette l'image jaune et rouge du spectre de l'étoile se trouve adapté un oculaire qui permet à l'observateur de s'assurer, par la coïncidence de l'une des lignes noires de cette région avec un repère fixe, que le mouvement d'horlogerie marche d'une manière régulière et que l'image de l'étoile tombe toujours sur l'axe de la fente. Un prisme placé dans le voisinage de la fente permet d'envoyer sur celle-ci la lumière de la Lune, d'une planète ou du Soleil, destinée à fournir une échelle de comparaison pour déterminer la position des diverses raies.

934. Méthode d'Huggins et de A. Miller. — Ces astronomes emploient un télescope à miroir métallique du type de Cassegrain, ayant 0m45 d'ouverture. Le spectre est produit par un prisme de spath d'Islande, d'un angle de 60°, taillé perpendiculairement à l'axe du cristal ; les objectifs du collimateur et de la lunette spectroscopique sont en lentilles de quartz. Comme dans la méthode de Draper, la fente est placée directement au foyer du télescope et du collimateur dont on supprime le petit miroir du spectroscope : on obtient ainsi facilement sur la même plaque et avec la même source lumineuse un spectre de comparaison produit par une lumière de composition connue, ou par la combustion d'un métal déterminé. La fente présente une largeur de 7 à 8 centièmes de millimètres, afin de ne pas trop diminuer la lumière de l'étoile et de ne pas être obligé de recourir à des poses trop longues ; l'image du spectre est reçue sur une plaque photographique au gélatino-bromure d'argent.

Le maintien de l'image de l'étoile sur la fente du spectroscope est une des difficultés les plus grandes que l'on rencontre en spectrophotographie astronomique : les mouvements d'horlogerie les mieux réglés ont toujours quelques irrégularités dans leur marche ; de plus, les chercheurs n'ont qu'exceptionnellement un pouvoir optique suffisant pour permettre de bissecter avec exactitude l'image de l'étoile,

et par suite faire coïncider cette image avec la fente du spectroscope.

Huggins et Miller sont parvenus d'une façon très ingénieuse à maintenir l'étoile sur la fente en employant le dispositif suivant[1] : une plaque circulaire d'argent poli, ayant un diamètre de 0^m037 et en son centre une ouverture très légèrement plus large que la fente du spectroscope, est placée sur cette fente; ce miroir étant éclairé par une lumière latérale peut être aperçu à l'aide d'une petite lunette de Galilée qui remplace l'oculaire ordinaire du télescope. On voit alors dans le champ de celle-ci le miroir argenté, l'image de la fente et l'image de l'étoile qui déborde toujours un peu sur les lèvres de cette dernière. On peut ainsi maintenir l'image de l'étoile sur la fente et même la promener le long de cette dernière, de manière à donner à l'image photographique du spectre la hauteur nécessaire à une bonne visibilité des lignes de Fraunhofer. Un déplacement de la plaque argentée suffit ensuite pour cacher à toute lumière la portion de la plaque photographique sur laquelle s'est formée le spectre de l'étoile et pour permettre d'obtenir au voisinage de ce dernier un spectre de repère fourni par le Soleil, la Lune ou une source connue.

Une autre méthode employée plus récemment par Huggins consiste à utiliser un équatorial double, l'un avec un objectif servant comme chercheur, l'autre avec un miroir servant à l'étude spectroscopique. L'axe de déclinaison de l'appareil[2] est formé de deux cylindres qui se meuvent l'un dans l'autre; à l'un d'eux est attachée la lunette portant un objectif de 0^m38 de diamètre; à l'autre un télescope de Cassegrain ayant 0^m45 d'ouverture. Ce double axe permet aux deux instruments de se mouvoir indépendamment en déclinaison, mais ils ont le même mouvement en ascension droite. L'un d'eux étant dirigé sur une étoile équatoriale peut donc servir pour s'assurer de la marche correcte du mouvement d'horlogerie.

On peut par cette méthode obtenir le spectre des étoiles. La chambre noire, contenant une plaque préparée au gélatino-bromure, se met à la place de l'oculaire; les opérations photographiques ne présentent rien de particulier.

935. Méthode de E.-C. Pickering. — Le dispositif employé par Pickering[3] diffère complètement de ceux adoptés par Draper et

1. Rayet, *Bulletin astronomique de l'Observatoire de Paris*, IV, 1887.
2. *Monthly Notices*, XLIV, février 1884, p. 171.
3. *Memoirs of the American Academy*, 1886, XI, p. 208.

par Huggins; au fond, cette méthode est identique à celle utilisée pour l'observation par Fraunhofer et par le P. Secchi : elle consiste à obtenir les spectres en plaçant devant l'objectif de la lunette un prisme d'un angle faible, mais assez grand pour le couvrir tout entier.

Cette méthode présente deux avantages fort séduisants au premier abord : la perte de lumière est faible (ce qui permet d'obtenir les spectres d'étoiles de 7e et même de 8e grandeur); de plus, on obtient sur une seule plaque le spectre de toutes les étoiles qui sont dans le champ de l'instrument, tandis que par les anciens procédés on ne pouvait photographier que le spectre d'une seule étoile. Mais ces avantages sont compensés par l'inconvénient très sérieux de ne pouvoir former sur la photographie un spectre de comparaison. Cette méthode doit donc être réservée à la description sommaire et au classement de spectres des nombreuses étoiles.

L'objectif employé par Pickering, à Harvard College, mesure 0^m20 de diamètre. Devant cet objectif, on place des prismes ayant 5° ou 15° d'angle, de manière que leur arête soit parallèle à la direction du mouvement diurne, ou bien horizontale lorsque l'instrument est dans le méridien; les spectres sont alors dispersés dans la direction du méridien, et pour leur donner une hauteur convenable, on agit sur le mouvement d'horlogerie de l'équatorial, de manière à altérer sa vitesse suivant l'éclat de l'étoile dont on veut obtenir le spectre; les étoiles parcourent alors le champ avec une vitesse variable qu'on détermine par l'expérience. C'est ainsi qu'avec les plaques au gélatino-bromure très sensible il suffit d'arrêter le mouvement d'horlogerie pour que le spectre de ces étoiles se photographie pendant qu'elles traversent le champ; avec les étoiles de 8e grandeur, au contraire, il faut que le mouvement d'horlogerie retarde sur le mouvement diurne d'environ douze secondes par heure.

On obtient par cette méthode, avec un objectif de 0^m20 de diamètre, des spectres d'étoiles de 8e grandeur, avec un temps de pose qui ne dépasse pas une heure sur plaques au gélatino-bromure d'argent.

936. Méthode de M. Deslandres. — Lorsque l'on emploie de très grands instruments pour la spectrophotographie, on se heurte aux difficultés spéciales qui accompagnent le maniement de ces grands appareils. M. Deslandres[1], chargé d'étudier les spectres stel-

1. *Comptes rendus*, 20 octobre 1890, p. 562.

laires par la photographie à l'Observatoire de Paris, avec le grand télescope de 1m20 de diamètre, a employé dans ce cas spécial divers dispositifs des plus ingénieux. Il a adopté la méthode du spectroscope à fente étroite, qui, si elle est plus difficile dans l'application, fournit seule les éléments d'une étude complète ; c'est d'ailleurs la seule qui convienne aux astres ayant un diamètre apparent et qui se prête à l'emploi d'un spectre de comparaison, et par suite à la mesure des longueurs d'onde, à la recherche de la composition chimique et des mouvements propres. Avec cette méthode, il faut exécuter les opérations suivantes : 1° placer la fente du spectroscope dans le plan focal, parallèlement aux déplacements en ascension droite ; 2° placer devant la fente une source de comparaison ; 3° diriger l'étoile sur la fente, tout à côté de la source ; 4° faire courir l'étoile sur la fente avec une vitesse variable suivant les cas.

Le spectroscope employé par M. Deslandres s'adapte à l'anneau du télescope par des colliers, de même que l'oculaire. La première opération doit être répétée pour chaque position de l'anneau mobile qui porte le petit miroir et le spectroscope. La fente et l'anneau devant tourner d'angles égaux, des graduations correspondantes sur le pourtour du tube et le cercle arrière du spectroscope permettent d'effectuer assez facilement la première opération.

Les dispositions mécaniques nécessitées par la monture d'un grand miroir rendent les autres opérations difficiles ; en effet, le plan focal est très voisin du petit miroir, et l'espace restreint compris entre le petit miroir et la fente n'est pas à portée de la vue et de la main de l'observateur, surtout si l'on se sert d'un long prisme à vision directe ; dans ce cas, le spectroscope peut atteindre 1m20 de longueur. On dispose à l'avance devant la fente la source de comparaison. M. Deslandres se sert de l'étincelle électrique condensée jaillissant entre deux pointes de fer ; le support des pointes et les fils conducteurs sont fixés à la fente, de manière à être parfaitement isolés et à passer par les colliers de l'anneau.

Pour diriger l'étoile sur la fente au point voulu et la maintenir pendant une longue pose, il n'a pas été possible d'employer des chercheurs ; d'ailleurs, le grand miroir se déplaçant dans sa gaine, l'emploi d'un chercheur ne donnerait aucun résultat. Il faut se régler d'après les images formées au foyer et par l'intermédiaire du spectroscope en utilisant dans ce but les rayons et les images du grand miroir, qui ne servent pas pour l'impression protographique, comme

le faisait Draper avec le spectroscope stellaire de Browning. Le dispositif très ingénieux employé par M. Deslandres présente une certaine analogie avec celui que Nachet a utilisé dans son microscope à photographies instantanées **(882)**. Les rayons rouges du spectre qui sont renvoyés par le spectroscope vers l'observateur sont inutiles pour la photographie. Sur le trajet de ces rayons et près de la chambre photographique on place un petit prisme à réflexion totale qui les ramène sur le côté, vers une lunette à réticule ; l'observateur peut ainsi suivre et diriger l'image sur la fente pendant une pose longue, ayant en même temps la main sur le mouvement lent de déclinaison, pendant qu'un assistant, d'après ses indications, agit sur le mouvement lent d'ascension droite.

L'emploi d'un chercheur spécial au spectroscope facilite beaucoup les opérations. M. Deslandres fixe à la fente un miroir incliné à 45°, qui est percé d'une ouverture juste assez large pour laisser passer le faisceau des rayons concentrés sur la fente ; les faisceaux voisins sont rejetés sur le côté, et, après une autre réflexion, renvoyés vers une petite lunette fixée au spectroscope, à portée de l'observateur. Cette lunette donne donc l'image des astres dans le plan de la fente.

937. Historique. — Draper a obtenu, en mai 1872, la photographie du spectre de Véga de la Lyre. Les épreuves obtenues au mois d'août de la même année montrent pour la même étoile un spectre avec quatre lignes obscures dont la moins réfrangible est au voisinage de G. Ce sont là les premiers résultats sérieux obtenus en spectrophotographie astronomique.

Huggins et A. Miller avaient commencé des travaux de cette nature en 1863. Ils avaient essayé à cette époque de reproduire sur une plaque sensible le spectre que leur donnait l'appareil qu'ils employaient depuis quelques mois à l'étude optique de la lumière des étoiles ; par suite du défaut d'achromatisme chimique de leur instrument, les photographies ne leur montrèrent qu'un trait noir sans lignes visibles, ce qui leur fit abandonner leurs essais. Ils les reprirent en 1875 avec un télescope de Cassegrain et obtinrent des résultats très précis [1]. De 1879 à 1883, Draper a obtenu la photographie du spectre d'une cinquantaine d'étoiles brillantes. Sur chaque plaque, à côté du spectre de l'étoile, se trouve une photographie du spectre de la Lune, d'une planète ou du Soleil, destinée à servir d'échelle de comparaison pour la détermination de la position des lignes noires.

Huggins et Miller ont obtenu, de 1876 à 1886, avec une durée de pose d'une heure environ, les spectres photographiques des principales étoiles de 1re et de 2e grandeur ; ils les ont comparés au spectre de la Lune, des planètes et même à celui de la lumière diffuse du ciel. Huggins a étudié en

1. *Philos. Transact.*, CLXXI, 1880.

même temps le spectre des principales étoiles variables qui se sont montrées depuis 1876, le spectre des grandes comètes et les spectres de quelques nébuleuses.

Le 7 mars 1882, Huggins a obtenu une photographie de la nébuleuse d'Orion ; le temps de pose a été de quarante-cinq minutes, en employant le miroir métallique de 0^m46. L'image photographique s'étend jusqu'au delà de la raie M dans l'ultra violet. Depuis lors, Huggins a obtenu de nombreuses photographies de la nébuleuse et a pu fixer la position de plusieurs groupes de raies nouvelles. Ces études lui ont permis d'affirmer[1] que les petites étoiles du trapèze sont associées physiquement avec la matière de la nébuleuse.

Huggins[2] a trouvé tout récemment la raie Hγ très brillante dans la nébuleuse d'Orion; il a observé que les raies de la nébuleuse, aussi bien celles qui sont visibles que les raies photographiques, ne sont pas uniformes dans toute l'étendue de leur longueur, mais qu'elles contiennent des points ou nœuds qui deviennent subitement plus brillants; ces points ou nœuds correspondent aux petites parties plus brillantes que l'on remarque dans la surface marbrée de la nébuleuse.

Huggins[3] a photographié le spectre d'Uranus le 3 juin 1889; il a obtenu en deux heures de pose un spectre s'étendant de F à N dans l'ultra violet. Sur l'épreuve on reconnaît toutes les raies d'un spectre solaire photographié sur la même plaque ; *il n'y a pas d'autres raies lumineuses ni noires.* Cette photographie met hors de doute que la lumière de la planète de F à N est empruntée au Soleil; une simple photographie bien exécutée a permis de résoudre une question sur laquelle quelques doutes s'étaient élevés[4].

Les frères Henry[5] ont obtenu de bonnes photographies spectrales en se servant soit d'un prisme en flint de 0^m12 de côté et d'un angle de 45°, soit d'un prisme ayant un angle de 22° placés en avant de l'objectif de l'équatorial photographique; mais c'est M. Deslandres[6] qui, avec le grand télescope de 1^m10, a obtenu le premier, à l'Observatoire de Paris, des photographies spectrales qui permettent la recherche de la composition chimique et des mouvements propres.

§ 8. — APPLICATIONS DIVERSES.

938. Photographies du passage de Vénus sur le Soleil. — M. Faye a proposé le premier[7] d'employer la photographie comme moyen de mesure permettant de déterminer avec une grande précision la valeur du diamètre solaire. Avec une image d'environ 0^m09 de diamètre, que l'on mesurerait

1. *Comptes rendus*, 1889, I, p. 984.
2. *Ibid.*, 1890, I, p. 1311.
3. *Ibid.*, 1889, I, p. 1228.
4. *Ibid.*, 1889, p. 1149.
5. *Ibid.*, 1890, II, p. 5.
6. *Ibid.*, 1890, p. 564.
7. *Ibid.*, 19 février 1849.

par des procédés micrographiques, on obtiendrait des résultats précis, car la distance focale de l'objectif peut être déterminée à quelques millimètres près; le rayon de l'image solaire, divisé par la distance focale de l'objectif, donne la tangente de l'angle sous-tendu par le rayon du disque solaire. Cette détermination importante a été faite par les astronomes en mesurant l'instant des contacts lors des passages de Vénus sur le Soleil. En 1874 et 1882, on a pensé que, quelque soin qu'on eût pris pour prémunir les observateurs contre les phénomènes optiques singuliers qui se produisent à l'instant des contacts intérieurs de la planète, il était néanmoins à craindre que le phénomène de la goutte noire ne vînt donner à la détermination de l'instant de ces contacts une incertitude assez grande et produire dans la valeur de la parallaxe une erreur probable assez considérable pour que les expéditions organisées à grand frais pour observer ces phénomènes ne donnassent aucune approximation nouvelle dans la valeur de la parallaxe solaire[1]; on songea donc à obtenir des photographies du passage. D'après ces photographies, on pouvait déterminer soit l'instant des contacts, soit la distance minimum des centres de Vénus et du Soleil.

Les valeurs de la parallaxe solaire déterminées par les procédés astronomiques étant comprises entre 8″,82 et 8″,90, soit une valeur très probable de 8″,86, il fallait que la photographie permît de faire les mesures à 0″,02 près; pour cela, il fallait obtenir des images très nettes. La Commission de l'Académie des Sciences de Paris, chargée des préparatifs de l'expédition, a adopté le procédé de la plaque daguerrienne qui présente pour la photographie des astres de grands avantages : les contours sont extrêmement nets et les images exemptes de déformations. L'appareil employé consistait en une lunette couchée horizontalement sur des piliers de pierre, devant un miroir plan qui est seul mobile et renvoie constamment vers l'objectif les rayons du Soleil. Les lunettes adoptées avaient à peu près 4 mètres de long, et les objectifs 5 pouces d'ouverture; le disque du Soleil dans ces instruments devait avoir 0m036 environ. Les miroirs plans, en verre argenté, avaient été taillés par M. Ad. Martin et montés par M. Eichens, dans un bâti très simple et très solide.

Les astronomes anglais, allemands et russes ont employé des instruments de même espèce, semblables dans leurs dispositions générales au photohéliographe de Kew, et construits par Dallmeyer ou Steinheil. L'objectif amplificateur travaillant à toute ouverture ne déformait pas l'image; le faisceau qui émanait du foyer traversait librement l'objectif amplificateur; on évitait ainsi la production des bourrelets de diffraction qui détruisent toute netteté des images et qui rendent illusoire la précision apparente des mesures. On peut d'ailleurs faire des mesures micrométriques sur une image amplifiée en éliminant toutes les déformations que l'amplificateur a pu introduire; il suffit de placer l'épreuve, fortement éclairée, au lieu même où elle a été obtenue et de la regarder au microscope à travers l'objectif amplificateur. Les rayons qui émanent de l'épreuve suivent en sens inverse la même marche que ceux qui l'ont formée et subissent ainsi des déviations exactement contraires. Ce procédé, très élégant, est dû à un astronome portugais[2].

1. Rayet, *Bulletin astronomique de l'Observatoire de Paris*, IV, 1887.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1875, p. 27.

M. Janssen a employé pour déterminer l'instant des contacts géométriques un instrument spécial qu'il a appelé *revolver photographique*. Cet appareil[1] se compose essentiellement d'un plateau denté, portant la plaque sensible qui doit se trouver au foyer de la lunette, et engrené avec un pignon à dents séparées qui lui communique un mouvement angulaire alternatif de la grandeur de l'image à produire. Devant la boîte, et fixé sur le même axe qui porte le plateau, se trouve un disque percé de fentes qui tourne d'un mouvement continu.

Chaque fois qu'une fente du disque passe devant celle qui est pratiquée dans le fond de la boîte, une portion égale de la plaque sensible se trouve découverte et une image se produit. Dans le premier appareil construit par M. Janssen la plaque sensible était au repos, quand une fenêtre, par son passage, déterminait la formation de l'image. Cette condition impose une limite bientôt atteinte dès qu'on veut dépasser une dizaine d'images par seconde, parce qu'il est difficile d'arrêter subitement et pour un temps très court un corps animé d'un mouvement rapide. M. Janssen a proposé de supprimer cette condition, inutile pour certains travaux : en effet, il existe un rapport, suivant la finesse des éléments de l'image, entre le mouvement que l'on peut donner à la plaque et le temps de l'action lumineuse.

M. Janssen a pu obtenir des photographies de la granulation solaire sur une plaque animée d'un mouvement de 0^m15 à 0^m20 par seconde. Cette observation permet de s'affranchir de l'obligation des arrêts successifs. Rien ne limite le nombre des images que le revolver pourra fournir dans un temps donné ; il faut seulement établir un juste rapport entre la délicatesse de détail des images, la vitesse de la plaque sensible et le temps de l'action lumineuse. Dans la nouvelle disposition, le plateau portant la plaque sensible, l'obturateur portant les fentes sont chacun animés d'un mouvement rotatoire continu, et c'est la grandeur de ces mouvements et leur rapport qui déterminent la rapidité dans la succession des images et les conditions de leur formation[2].

Les missions américaines ont employé des objectifs à longue distance focale, ayant environ 0^m127 d'ouverture, achromatiques pour les rayons chimiques et ayant 12 mètres de foyer : elles donnaient à leur foyer des images solaires ayant 0^m122 ; par ce moyen on évite complètement les distorsions qui rendent difficiles les mesures de distance ou d'angle de position. Les photographies obtenues par ce procédé[3] ont été satisfaisantes ; examinées avec un microscope grossissant environ quatre fois, elles ont montré un bord solaire suffisamment défini pour se prêter aux mesures. Les résultats photographiques de 1874 ont semblé aux astronomes de Washington assez satisfaisants pour les engager à employer la même méthode en 1882.

939. Enregistrement d'un passage du Soleil au méridien. — M. Faye a proposé d'employer la photographie pour déterminer l'ascension droite méridienne du Soleil. Il proposait alors d'employer la méthode sui-

1. *Comptes rendus*, 6 juillet 1874.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1882, p. 155.
3. *American Journ. of Science*, juin 1881.

vante : si l'on tend[1] au foyer d'un objectif plusieurs fils verticaux et si l'on observe directement le passage des deux bords du Soleil aux fils extrêmes, puis au daguerréotype le passage de ces deux bords au fil du milieu, la différence des temps conclus pour le passage du centre au méridien donneront évidemment l'équation personnelle de l'observateur. En couvrant la plaque ou l'objectif à l'aide d'un écran mobile qu'on puisse faire jouer subitement par une détente, au signal donné par les battements de la pendule on obtiendra instantanément sur la plaque une image du Soleil avec celle des fils du réticule, et l'on pourra mesurer, puis transformer en temps la quantité dont le bord aura dépassé le fil du milieu. Or, on sait que cette opération où intervient seulement le sentiment du rythme n'est point affectée par l'équation personnelle de l'observateur.

Cette méthode a été employée par M. Liais en 1858, lors de la détermination de la longitude de Panaragua. Il se servit de photographies du Soleil faites pendant son passage à la lunette dans le méridien, les ouvertures ayant coïncidé avec les battements du chronomètre et les épreuves portant à la fois l'image de l'astre et celle des fils. Les distances des deux bords au fil pouvaient être mesurées avec précision.

Porro avait construit pour M. Faye[3] un appareil permettant d'obtenir une série d'enregistrements photographiques des passages méridiens du Soleil; les épreuves obtenues étaient remarquables par leur netteté. L'appareil consistait en une lunette méridienne à prisme objectif tournant sur des colliers et portant à la place de l'oculaire l'appareil d'agrandissement destiné à projeter à la fois sur la plaque sensible le réticule et l'image solaire. Une détente faisait marcher au doigt, presque instantanément, un très petit écran placé dans le plan de l'anneau oculaire de l'appareil optique, et l'enregistreur électrique, relié à cet écran, notait le temps avec une précision extrême. M. Faye a présenté à l'Académie une observation méridienne du Soleil faite par un enfant.

M. Wolf[4] a rappelé cette méthode de M. Faye : elle ne pouvait à cette époque être appliquée qu'au Soleil et à la Lune, par suite du peu de sensibilité des plaques photographiques; il n'en est plus de même aujourd'hui. « Tant qu'on ne sera pas parvenu à photographier une belle étoile en plein jour, en une très petite fraction de seconde, le problème de l'astronomie de position indépendante de l'observateur ne sera pas résolu ». Les plaques actuelles permettent[5] d'obtenir le résultat demandé par le savant astronome de l'Observatoire de Paris; on peut donc espérer que les applications de la photographie à l'astronomie de position ne tarderont pas à se généraliser.

940. Accroissement de l'image photographique. — Quelques observateurs remarquèrent que les photographies de l'éclipse solaire du 7 août 1869 présentaient un phénomène assez singulier : l'image solaire se trouvait dilatée, les parties lumineuses empiétant sur les régions obscures. L'abbé

1. *Comptes rendus*, 19 février 1849.
2. *Ibid.*, 1er juillet 1861.
3. *Ibid.*, 29 mai 1860.
4. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1875, pp. 17, 18.
5. Voyez ce volume, p. 210.

Laborde [1] crut expliquer l'empiètement des images par l'action du révélateur au fer : dans les parties noires du négatif, tout l'argent est rapidement réduit; dans les parties blanches, l'argent se porte sur les noirs contigus par diffusion et par écoulement, parce que le liquide renfermant moins d'argent est moins dense. Ce phénomène d'empiétement est facile à observer sur un négatif renforcé énergiquement avec l'acide pyrogallique et le nitrate d'argent. On avait conclu de cette explication qu'au point de vue scientifique toute épreuve renforcée à outrance doit exciter la défiance. Cette interprétation n'est pas exacte. Ch. André, dans ses recherches [2] sur la diffraction, a retrouvé des phénomènes de même ordre dans l'observation astronomique des astres à diamètre apparent sensible. L'étude des images photographiques obtenues au foyer des lunettes astronomiques a fourni à M. A. Angot des résultats très intéressants [3].

La méthode expérimentale employée par M. Angot consiste à prendre, dans des circonstances variées, l'image photographique d'une source lumineuse formée de deux rectangles séparés par un espace obscur. L'augmentation de dimension que l'on observe pour chaque rectangle lumineux est égale à la diminution de l'espace obscur compris entre eux : la somme des deux quantités doit donc être constante et égale à ce qu'elle serait si elle se formait seulement d'après les lois de l'optique géométrique; on a donc une vérification précieuse qui donne le degré d'approximation de chaque expérience.

Les images photographiques ayant servi à ces mesures ont été obtenues au foyer d'une lunette de $0^m,13$ de diamètre, achromatisée par l'écartement des deux lentilles qui le composent et ayant une longueur focale de $3^m,80$. Une longueur de $\frac{1}{500}$ de millimètre mesurée sur les épreuves photographiques correspond ainsi à un angle de $0'',109$. Les épreuves ont été mesurées avec une des machines construites par MM. Brünner pour la Commission du passage de Vénus; ces machines permettent d'évaluer rapidement et avec certitude le $\frac{1}{500}$ de millimètre. L'objet photographié, disposé à environ 87 mètres de l'objectif, est une source lumineuse formée de deux rectangles égaux séparés par un intervalle obscur; ces rectangles sont découpés dans une lame métallique que l'on applique sur une plaque de verre dépoli, éclairée par derrière avec une lampe Drummond ou la lumière électrique.

Les expériences faites par M. Angot sur plaque daguerrienne, sur plaque préparée au collodion humide ou sec, lui ont montré que la dimension des images variait : 1° avec l'intensité de la lumière; 2° avec la durée de la pose; 3° avec la sensibilité de la plaque; 4° avec le diamètre de l'objectif; 5° avec l'état chimique de la plaque, les phénomènes étant différents si la plaque a vu ou non le jour avant de recevoir l'impression photographique.

Pour rendre très faible cette variation du diamètre des images il faudra s'assurer que l'objectif employé est aplanétique, c'est-à-dire dépourvu autant que possible d'aberrations de sphéricité et de réfrangibilité. Il n'y a plus alors à tenir compte que des variations dues à la diffraction. On attè-

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1870, p. 43.

2. *Comptes rendus*, 17 janvier et 13 mars 1876.

3. *Comptes rendus*, 1876, et *Bulletin de la Société française de photographie*, 1876, p. 273, et 1877, p. 158.

nuera ces variations de diamètre en employant des objectifs de grande ouverture, car l'étendue de la zone diffractée varie en raison inverse du diamètre de l'objectif supposé aplanétique.

941. Emploi des objectifs catadioptriques. — Zenger [1] a proposé d'aplanétiser les miroirs sphériques à l'aide de deux lentilles de correction, de même longueur focale, l'une concave, l'autre convexe, et faites avec le même verre. Il a construit, avec l'aide de Schrœder, un miroir de 0^m192 ayant 0^m991 de longueur focale ; l'ouverture des lentilles, faites en nouveau verre de Schott, était seulement de 0^m04. Les images obtenues sont extrêmement belles ; celles des étoiles se réduisent à des points.

942. Emploi des plaques phosphorescentes. — On peut disposer au foyer d'une lunette une plaque phosphorescente, puis placer cette dernière dans l'obscurité en contact avec un plaque au gélatino-bromure. Cette méthode a été proposée par Zenger [2]. Il recouvre une plaque avec la matière phosphorescente connue sous le nom de phosphore de Bolman, il laisse sécher et expose au foyer de la lunette pendant un temps variable. Immédiatement après la pose, en opérant à l'abri de la poussière et dans l'obscurité, il place la plaque phosphorescente sur une glace préparée au gélatino-bromure. Le contact est prolongé pendant des heures, des jours entiers même. On parvient à reproduire ainsi des objets invisibles au télescope. En prolongeant suffisamment le contact avec une durée de pose suffisante, on parvient à remplacer par ce contact le temps de pose qu'il aurait fallu donner à la plaque au gélatino-bromure qu'on aurait exposée au foyer du télescope. Zenger [3] a proposé d'employer ce procédé pour la confection de la carte du ciel. Il est certain que si cette méthode donnait des résultats constants, le travail serait singulièrement abrégé, puisque dans une soirée de trois heures on pourrait obtenir un grand nombre de négatifs sur plaques phosphorescentes. L'impression de ces négatifs s'effectuerait d'elle-même ; l'observateur n'aurait d'autre travail à faire que celui qui consisterait à développer les plaques disposées dans les châssis-presse. Cette méthode, si intéressante en théorie, n'a pas fait l'objet de travaux suivis.

1 *Comptes rendus*, 1889, II.
2. *Ibid.*, 1886, I, p. 109.
3. *Ibid.*, 1886, II, p. 454.

BIBLIOGRAPHIE.

LONDE. *La Photographie moderne.*

MONCKHOVEN (VAN). *Traité général de photographie,* 5e édition.

MOUCHEZ. *La Photographie astronomique à l'Observatoire de Paris,* 1887.

RAYET. *Notes sur l'histoire de la photographie astronomique,* 1887.

DRAPER (H.). *On the construction of a silvered glass telescope.* Washington, 1864.

Recueil des mémoires, rapports et documents relatifs au passage de Vénus sur le Soleil.

Réunion du Comité international permanent pour l'exécution photographique de la carte du Ciel.

CHAPITRE III

APPLICATION AU LEVER DES PLANS.

§ 1er. — MÉTHODE DE M. LAUSSEDAT.

943. Matériel. — La chambre noire photographique munie de son objectif peut servir pour les levers topographiques. En effet, les vues de paysages qui se dessinent sur la glace dépolie sont des perspectives coniques telles qu'on les définit en géométrie; elles jouissent donc des mêmes propriétés que ces dernières.

Pour que les épreuves photographiques puissent servir à la construction d'un lever, il faut que l'axe de l'objectif puisse être placé dans une position absolument horizontale et la glace dépolie dans une position verticale; il faut de plus que l'on connaisse très exactement la distance focale principale de l'objectif, déterminée soit par la méthode de M. Cornu, soit à l'aide du tourniquet; enfin, la projection de l'axe principal de l'objectif doit pouvoir être marquée sur le négatif.

La méthode des levers photographiques la plus généralement employée est la méthode des intersections indiquée par Beautemps-Beaupré et le colonel Leblanc. Cette méthode a été perfectionnée par M. le colonel Laussedat. Il a d'abord dessiné à la chambre claire, puis a appliqué à ce procédé les vues photographiques qui sont des perspectives exactes. Arago[1], dès 1839, avait prévu cette application de la photographie.

Le matériel nécessaire à ces diverses opérations se compose d'une chambre noire munie d'un objectif donnant des images exemptes de distorsion et des instruments employés habituellement en topographie.

1. Voir *Rapport à la Chambre des députés*, 3 juillet 1839.

944. Principes de la méthode. — Un lever topographique comporte un *canevas* et des *détails*. Les points remarquables du terrain sont déterminés sur le canevas ; les détails (routes, maisons, sentiers, etc.) sont ensuite mis en place à l'aide de ce canevas. Pour déterminer un point M dans la confection du canevas, de S et S′ (*fig. 680*), points dont la distance et la position sont connus, on fait une visée sur le point M, c'est-à-dire on détermine dans l'espace les droites joignant les points S et S′ au point M. Ces droites SM (*fig. 681*) sont déterminées par l'azimut ou l'angle ω que le plan vertical de la visée fait avec un plan vertical fixe SX et par l'angle de pente α de la visée avec l'horizontale, angle égal à MSM′ si l'on suppose la visée rabattue en SM′. MM′ étant égal à la différence de

Fig. 680.

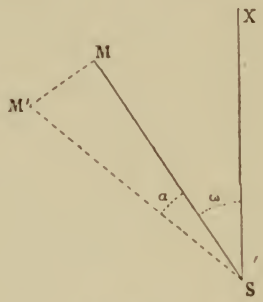


Fig. 681.

niveau de S et de M réduite à l'échelle du dessin. L'azimut et la pente qui sont donnés par tous les instruments de topographie peuvent être fournis par toute perspective régulière du terrain prise de ce même point S, et en particulier par la photographie. Par cette substitution des épreuves photographiques au lever à la planchette on réalise de nombreux avantages ; en effet, la vue photographique donne tous les détails, représente tous les points du terrain dans un temps très court, et permet d'éviter les confusions qu'entraînent les nombreuses visées que l'on est obligé de faire par la méthode ordinaire. L'opération de la construction du plan se faisant d'après les épreuves, on choisit les points en ayant sous les yeux les deux aspects du terrain. On peut les multiplier indéfiniment sans augmenter beaucoup le travail ; de plus, le lever porte avec lui, dans les épreuves qui ont servi à le construire, ses vérifications ; il n'y a plus à redouter ni maladresse ni mauvaise foi, et d'ailleurs les vues sont fort utiles pour montrer toutes les formes du terrain et pour aider à

les rendre par le dessin[1]. Le résultat principal de l'emploi de la photographie est de réduire considérablement les calculs, les lectures d'instruments et les tracés compliqués; la mise en place des détails est singulièrement simplifiée par l'emploi de la photographie.

La détermination d'un point par la méthode de Laussedat est très simple. Au moment de la pose, tous les points d'un terrain peuvent être réunis à leurs images respectives, dans la chambre noire, par des droites passant par le point nodal d'émergence de l'objectif. Ces droites sont parfaitement déterminées quant à leurs directions relatives, puisque l'on connaît une de leurs extrémités (l'image) et qu'elles passent toutes par un même point. Par suite, étant donné une photographie et la distance focale principale de l'objectif qui a servi à l'obtenir, on pourra construire l'ensemble de toutes ces droites. Si l'on fait cette construction pour deux photographies du même terrain, mais prises de points de vue différents, et que l'on suppose de plus une des images placée (à une échelle quelconque) dans la même position relativement à l'autre que pendant la pose, il sera facile de voir que les intersections des rayons du premier système avec les rayons homologues du second forment une surface semblable à la surface photographiée : on obtiendra ainsi un *plan en relief du terrain*. Pour obtenir le *plan* de ce terrain, il suffit de connaître la direction, non pas des droites passant par le point nodal d'émergence et le point considéré, mais celles de leurs projections horizontales. Supposons, en effet, que la photographie soit placée verticalement comme elle l'était pendant la pose; faisons passer un plan horizontal par l'axe de l'objectif : ce plan coupera l'image suivant une droite que nous appellerons la ligne d'horizon. Projetons par des perpendiculaires chaque point de la photographie sur cette ligne et traçons, par les pieds de ces perpendiculaires et par le point nodal d'émergence des droites indéfinies : ces droites seront les projections de celles qui avaient servi à la construction du plan en relief.

Si nous répétons la même opération avec une deuxième photographie orientée par rapport à la première, et si nous faisons coïncider les deux plans horizontaux, les intersections des projections homologues formeront le plan qu'il s'agissait d'obtenir. Il faut donc pour appliquer ce procédé que la plaque photographique, au moment de la pose, soit placée verticalement; qu'elle contienne la projection de

1. Javary, *Mémorial de l'Officier du génie*, n° 22.

l'axe optique et celle de la ligne d'horizon; enfin, qu'elle soit orientée par rapport aux autres photographies faites pour le même lever.

La construction d'un point est en somme assez simple : soit hh' (*fig. 682*), la ligne d'horizon d'un négatif, soit sx la direction d'origine perpendiculaire au tableau, m l'image du point visé, m' sa pro-

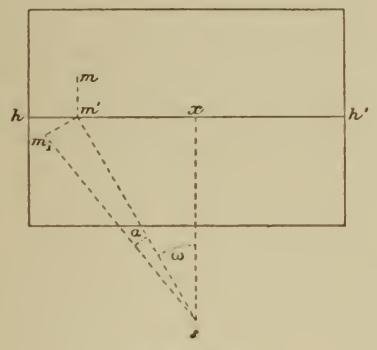


Fig. 682.

jection; joignons $m's$, abaissons de m' une perpendiculaire sur $m's$, et sur cette perpendiculaire portons une longueur $m'm_1 = mm'$: nous avons ainsi les éléments ω et α de la visée sm; on mesurera sx, $m'x$ et ω sera donné par la formule

$$\text{tang } \omega = \frac{m'x}{sx}.$$

La pente de la visée tang α se déterminera de même

$$\text{tang } \alpha = \frac{m'm_1}{m's},$$

ou bien

$$\text{tg } \alpha = \frac{mm'}{m's}.$$

Il suffit donc de mesurer trois longueurs et de faire deux calculs pour chaque visée; on a ainsi tous les éléments du lever. On peut les obtenir par l'emploi de la photographie.

945. Opérations à effectuer. — Les diverses opérations d'un lever

1. Laussedat, *Mémorial de l'Officier du génie*, n° 17.

comprennent : 1° la *planimétrie* ou tracé géométrique des principaux accidents de la surface du sol en projection horizontale; 2° le nivellement ou étude du relief de cette surface comparée soit à un plan horizontal, soit à une surface de niveau comme celle de la mer.

Pour construire le plan on part d'une base, c'est-à-dire de la distance horizontale mesurée entre deux stations; avec cette base, on détermine d'autres points et l'on prend de préférence ceux qui peuvent servir de station. La position d'un point du canevas est déterminée par un triangle dont on a la base et les deux angles adjacents. Ces angles se mesurent à l'aide d'un cercle divisé; la longueur de la base se détermine à la règle, à la chaîne, à la stadia ou même au pas, suivant la précision que l'on veut obtenir.

Le nivellement d'un point s'obtiendra facilement sur l'épreuve en faisant la construction que nous avons indiquée plus haut; il faudra ajouter à la hauteur trouvée celle du centre de l'anneau de l'objectif au moment de l'opération.

Les chambres noires photographiques doivent être munies de quelques organes géodésiques qui, dans la méthode de Laussedat, sont : 1° un cercle horizontal fixé à la base de l'axe vertical autour duquel tourne la chambre noire; ce cercle donne la minute; 2° un niveau à bulle d'air et à lunette qui se trouve fixé sur l'un des côtés de la chambre; de l'autre côté se trouve un contrepoids. Ces deux appareils doivent être construits avec précision. Pour obtenir la projection de l'axe optique sur la photographie, Laussedat fixe à l'arrière de la chambre noire quatre aiguilles très fines : il les place au milieu des quatre côtés et tout près du bord contre lesquels viennent s'appuyer les châssis; ces aiguilles, en interceptant la lumière, marquent sur l'épreuve quatre traits de repère qui, joints deux à deux, donnent la ligne d'horizon et une perpendiculaire passant par le milieu de cette ligne.

On commence par rendre vertical l'axe autour duquel tourne l'appareil. Ce résultat est obtenu quand la bulle du niveau reste entre ses repères pendant une rotation entière; on rend ensuite l'axe optique de la lunette horizontal et l'on détermine l'erreur de collimation. La lecture du vernier de l'éclimètre faite après que l'axe optique est horizontal constitue l'erreur de collimation, et les angles de pente indiqués par l'éclimètre doivent être augmentés ou diminués de cette quantité, suivant le sens de l'erreur et celui de l'inclinaison de la lunette.

Si l'on est obligé de décentrer l'objectif (ce qui est souvent indispensable en pays de montagnes), on mesure la hauteur dont il a fallu l'élever à l'aide d'une règle graduée placée à côté de la planchette; on a ainsi en sens inverse la hauteur, dont il faut abaisser ou élever la ligne d'horizon.

On fait la série de négatifs que l'on juge nécessaire d'obtenir. En pratique, il suffit, avec un objectif couvrant un angle de 40°, de faire cinq ou six vues d'une même station. On opère sur glace à l'exclusion des verres qui ne sont jamais plans; on développe les négatifs par les procédés usuels. Au lieu d'imprimer les images sur papier albuminé, qui se distend inégalement, on les imprimera sur glace au collodio-chlorure d'argent; l'image sera recouverte de gélatine contenant une petite quantité de glycérine et, lorsque cette couche sera sèche, on la recouvrira de collodion; on détachera alors

l'image de son support et on pourra la fixer sur le papier destiné à confectionner la minute du lever.

Lorsque les images sont terminées, on construit sur le papier le polygone des stations et l'on place à chaque station le plan de perspective des épreuves faites à cette station. Pour construire un point, soit *a b* (*fig. 683*) la base reportée à l'échelle sur la minute, on a stationné en A sur le terrain en photographiant tout ou partie de l'horizon B en y comprenant ce point B du terrain ; on répète la même opération en B et en un certain nombre de points convenablement choisis, de chacun desquels on voit A et B ou deux quelconques des points qu'on a choisis comme canevas. On commence par faire quelques vérifications en vue d'assurer l'ensemble du travail ; on construit d'abord toutes les directions qui doivent aller concourir ou être parallèles, telles que la direction *a*N, *b*N du méridien magnétique. Un point

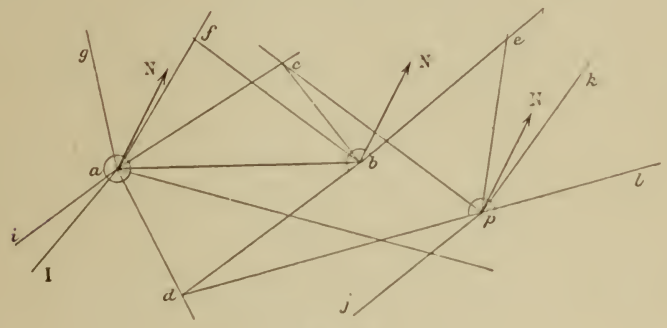


Fig. 683.

C qui se trouve sur les photographies prises de A, B, P, doit fournir le même point *c*, par l'intersection des droites *ac*, *bc*, *pc*.

Pour la mise en place des détails, on prend deux épreuves représentant les mêmes points d'une région ; lorsqu'on a reconnu ces mêmes points, on donne à chaque point sur les deux épreuves un même numéro d'ordre qu'on inscrit à côté en encre de couleur. On doit prendre les points par série, suivant les cours d'eau, les chemins, les groupes de maisons, les limites de bois ; on en répartit ensuite un certain nombre sur le terrain, autant que possible sur les crêtes, les thalwegs, les changements de pente, etc. Les premières serviront à la planimétrie et au nivellement, les secondes au nivellement.

La base polygonale ayant des côtés très petits relativement aux distances à déterminer, les droites se coupent sous des angles très aigus. On oriente les épreuves en opérant à la fois sur quatre ou cinq stations voisines. A cet effet, on construit pour chaque station, sur un secteur en papier transparent, les angles horizontaux relatifs à une dizaine de points très apparents, bien nets et aussi éloignés que possible les uns des autres.

Pour construire les secteurs, on trace d'abord les angles horizontaux de chaque station sur une feuille de papier ordinaire, puis on les calque sur une feuille de papier dioptrique. Il faut donc connaître *très exactement* la

distance focale principale de l'objectif, et pour n'avoir pas à s'inquiéter du retrait du papier sur lequel sont tirées les épreuves, il est avantageux d'opérer sur le négatif lui-même. On fixe le papier dioptrique, le négatif étant verni, à l'aide de quelques petites boules de cire ; le négatif étant placé sur une sorte de pupitre à retoucher, on trace les lignes dont on a besoin sur le papier dioptrique au moyen d'un crayon tendre.

Ces secteurs étant construits avec beaucoup de soin, on les place d'abord sur le plan à l'aide des données de la base. On les fixe alors provisoirement avec de la colle à bouche, et en examinant successivement toutes les directions relatives à chacun des points considérés, on voit si les intersections sont satisfaisantes. Lorsque cela n'arrive pas, on déplace très légèrement les épreuves, de manière à obtenir des intersections exactes pour deux points assez distants, et en commençant par les secteurs dont les sommets sont le plus espacés sur le polygone de base. Après quelques tâtonnements, on parvient à une rectification parfaite de la position des épreuves. Supposons que l'on ait opéré sur cinq épreuves, on repère alors par un léger trait de crayon la position des lignes principales des cinq épreuves, et l'on répète la même opération sur cinq épreuves voisines en conservant l'une des extrêmes (1 ou 5) du premier groupe.

Lorsqu'on est obligé de déplacer un peu cette épreuve (1 ou 5) qui sert de point de départ, on fait suivre le mouvement aux épreuves du premier groupe ; mais ce mouvement est à peine sensible. On arrive ainsi sans difficulté et assez promptement à placer les épreuves dans leurs positions définitives, d'ailleurs généralement très voisines de celles que leur assignaient les mesures prises le long de la base. On pique alors les directions des lignes principales et les points obtenus par tâtonnement, et l'on peut passer en toute sécurité à la construction du plan, qui s'opère avec une exactitude remarquable, comme si les stations avaient pu être choisies et espacées convenablement[1].

946. Modifications de Javary. — Dans la méthode de Laussedat, la chambre noire ne fait qu'un avec le cercle et le niveau. Javary[2] préfère réserver un instrument particulier pour chaque sorte d'opération. Il fait les vues photographiques à peu près à la même heure, profite du soleil pour l'opération photographique, car les opérations géométriques sont possibles par tous les temps. Ces dernières se font d'ailleurs avec tous les instruments qui permettent de déterminer exactement les stations ; l'exactitude de l'ensemble dépend uniquement du canevas. La photographie comporte une précision plus grande que celle que l'on obtient des angles à la boussole et même d'angles observés à une minute près. On détermine le canevas par une petite triangulation. Les côtés des triangles étant peu considérables, il n'y a pas à tenir compte de la réfraction, pas plus que de la courbure de la terre.

Il est quelquefois avantageux d'établir la station photographique à une petite distance de la station géométrique ; on mesure ensuite à la stadia la distance qui sépare ces deux stations. La base doit être mesurée avec le

1. Sabouraud, *Mémorial de l'Officier du génie*, n° 17.
2. *Mémorial de l'Officier du génie*, n° 22.

plus grand soin : on fait cette opération à la chaine et on la répète plusieurs fois à des jours différents.

La détermination de la distance focale principale de l'objectif est une des données les plus importantes. Javary a fait observer que cette distance n'était pas la même pour les bords et pour le centre de l'image. Pour obtenir une bonne épreuve, il faut choisir une position moyenne; cela est indispensable si l'on opère sur une plaque de la dimension de $0^m27 \times 0^m33$, comme le faisait Javary. Dans ce cas, on détermine la distance focale principale relative à cette position particulière de netteté moyenne. Il suffit pour cela de viser avec un instrument précis (donnant au moins les 20″), trois points éloignés A, B, C faisant entre eux un petit angle de 2 à 3 degrés. On installe l'appareil photographique et l'on fait une épreuve la glace étant bien verticale; on mesure sur le négatif la distance de ces points à la projection de l'axe optique sur l'épreuve; on a ainsi une série de triangles rectangles dont on connait un des côtés de l'angle droit et l'angle opposé à ce côté; on peut donc résoudre ce triangle et déterminer l'autre côté de l'angle droit qui est la distance focale correspondante à la mise au point adoptée. La détermination de la projection de l'axe optique sur la plaque sensible peut être faite facilement à l'aide de la trace de la monture de l'objectif sur le négatif (pourvu que l'objectif soit bien construit), que l'on place dans le châssis et que l'on amène au contact de la monture. On peut aussi calculer la position de ce point à l'aide de diverses méthodes spéciales que l'on retrouvera dans le mémoire de Javary [1]. Quand on connait la distance focale principale, on peut calculer les valeurs de cette distance correspondant aux divers points du verre dépoli. Les écarts que l'on peut tolérer sont variables avec la distance focale principale; si l'objectif ne donne pas de distorsion pour un angle de 45 à 50 degrés, l'erreur introduite est inappréciable.

947. Degré de précision de la méthode. — L'exactitude du lever par la photographie dépend de la distance focale de l'objectif et du diaphragme employé. On peut admettre que si l'on opère sur le négatif ou sur une image au collodio-chlorure on ne commettra pas une erreur de 0^m0001 sur l'observation d'un point, soit en distance horizontale, soit en hauteur apparente; c'est ce que l'expérience a démontré à Javary. Or, sur un cercle de 0^m50 de rayon, cette erreur correspond à un angle de 45″ environ et produit sur la position du point construit à 2500 mètres à l'échelle de $\frac{1}{500}$ une différence de 0^m50.

Pour le nivellement d'un point à 1000 mètres avec la distance focale de $0^m,50$, l'erreur sera $\frac{1000 \times 0,0001}{0,50} = 0^m,20$. C'est identiquement la précision que l'on obtient dans un lever ordinaire à l'échelle de $\frac{1}{500}$ avec des angles de pente observés à 30″ près.

Les erreurs seront plus grandes si l'on emploie des distances focales plus faibles. Il est bon de ne pas descendre au-dessous de $0^m,25$; cette distance focale donnera une exactitude suffisante pour le lever du terrain. Dans cer-

1. *Mémorial de l'Officier du génie*, n° 22.

tains cas, pour les levés très précis, il sera bon d'employer des distances focales de 0m65; on construira les points l'un après l'autre à l'aide de mesures au compas.

L'échelle la plus commode à employer est celle du $\frac{1}{5000}$. Dans certains cas, on pourra lever au $\frac{1}{2000}$ ou même au $\frac{1}{1000}$; mais dans ce cas il faut bien dominer le terrain et employer les objectifs à long foyer.

On peut par la photographie faire des reconnaissances en forme de lever d'itinéraire; dans ce cas, on emploiera l'échelle de $\frac{1}{10000}$. Pour opérer rapidement, trois opérateurs sont nécessaires : un géomètre et deux photographes. Le premier chemine sur une route et ne s'occupe que des opérations géométriques; un photographe marche parallèlement à lui sur sa droite, muni d'un appareil léger et de petite dimension, et fait les vues nécessaires à la construction du terrain de droite; il porte avec lui une boussole et une stadia. A chaque station, il tourne sa stadia vers le géomètre, qui vise sa direction et prend la distance; lui-même observe à la boussole les angles nécessaires à l'observation de ses épreuves; le second photographe fait la même opération à gauche. Quelques signaux très simples ont été convenus par avance, afin que toutes les observations nécessaires soient faites. Un lever de ce genre ne comportant pas une grande précision, on doit faire un petit nombre d'épreuves. Le géomètre a soin de viser lui-même quelques points bien reconnaissables pour assurer de temps en temps l'orientation des épreuves et rectifier les petites erreurs. C'est la méthode qu'il convient de suivre dans les reconnaissances de pays pour lesquels on n'a pas de cartes, et elle peut donner des résultats considérables si l'on a soin de faire le cheminement central avec quelque précision.

Plücker[1] a imaginé, sous le nom de *stéréographe*, un appareil imité bien des fois et qui permet d'obtenir de bons levers d'itinéraire sur plaque de $0^m,11 \times 0^m,15$. L'appareil est extrêmement léger, se monte rapidement et est construit avec précision. Il existe aujourd'hui bien des appareils analogues au stéréographe. M. de Torres[2] a fait construire un appareil assez semblable à celui de M. Plücker et qui est destiné à fournir des photographies par l'emploi de la méthode de M. Laussedat. La chambre noire permet d'obtenir des images de $0^m,13 \times 0^m,18$.

948. Photogrammétrie. — M. Meydenbauer a désigné sons le nom de *photogrammétrie* le moyen qui permet de lever les plans par la photographie, bien que la méthode de M. Laussedat et les instruments n'aient pas subi la plus légère modification[3]. Il a simplement proposé d'ajouter[4] un pied composé de trois mâts de 12 mètres de hauteur, reliés par des chaînes de fer, au sommet duquel on grimperait avec une échelle à incendie de 14 mètres de hauteur. L'emploi de cet appareil n'est pas commode, et d'après le Dr G. Le Bon, dans la pratique, MM. Meydenbauer et Stolze se sont servi purement et simplement de l'appareil Laussedat monté sur un pied quelconque.

1. *Photographie et topographie. — Le stéréographe de poche*, 1871.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, I, p. 73.
3. Dr G. Le Bon, *Revue scientifique*, 19 février 1887, p. 243.
4. *Mittheilungen über Gegenstande der Artillerie und Genie Wiss*, VII.

949. Lever des monuments. — On peut obtenir facilement les levers de monuments par la photographie. Pour se faire une idée de la dimension des objets représentés, il suffit de placer quelques mètres en des points convenablement choisis sur le monument à reproduire et de suivre quelques règles très simples relatives à la verticalité et au parallélisme de l'appareil [1]. Le Dr Le Bon a adopté le pied à calotte sphérique à double écrou concentrique (*fig. 684*) et à ressort de l'École d'application du génie, employé par la Commission du nivellement de la France. Grâce à l'emploi de ce pied et d'un petit niveau sphérique de la dimension d'une pièce de 2 francs, la chambre peut être placée horizontalement en moins d'une minute. Il se sert d'une glace dépolie portant des divisions parallèles,

Fig. 684.

horizontales et verticales, gravées à l'acide fluorhydrique; les deux lignes en croix, passant par le centre de la glace, sont divisées en millimètres sur toute leur hauteur. Le zéro de la graduation se trouve au centre de la glace; cette graduation permet de lire aisément la dimension des objets projetés sur la glace dépolie et de déterminer les angles horizontaux et verticaux par leurs tangentes. La connaissance des distances angulaires et la réduction des projections des lignes verticales sur l'axe optique permet de connaître la position d'une ligne quelconque, ce qui constitue le principe fondamental du procédé employé par le Dr Le Bon.

L'appareil photographique ne doit jamais être incliné: si une partie du monument à reproduire se trouve hors du champ de la chambre noire, on fait descendre ou monter la planchette porte-objectif.

Lorsqu'il s'agit de reproduire la façade ou le profil d'un édifice, on se met toujours parallèlement à la surface à reproduire; on place verticalement un mètre dans un recoin quelconque de l'objet à photographier. Si le monument comprend plusieurs plans (ce qui est le cas d'un intérieur, d'un édifice vu de trois quarts), on place verticalement deux ou trois mètres dans les différents plans où se trouvent des objets de hauteurs différentes.

1. *Revue scientifique*, 1885, II, p. 34, et 1887, I, p. 240.

Le plus souvent, un mètre au premier plan et un mètre au dernier suffisent.

Il est utile de prendre une vue d'ensemble de l'extérieur du monument, puis une vue d'ensemble de son intérieur, puis, le plus possible, des vues de détail (colonnes, statues, bas-reliefs, etc.). On photographiera ces objets à la grandeur convenable si l'on est muni d'objectifs de foyer suffisamment long, si un obstacle empêche de s'en approcher suffisamment, ou bien d'un objectif à court foyer si l'on ne peut s'éloigner du monument.

A l'aide d'une photographie dans laquelle se trouve une grandeur quelconque de hauteur approximativement connue, un mètre, un homme, etc., on peut déduire la hauteur d'un édifice situé dans un plan quelconque. Soit *ab* (*fig. 685*) la hauteur connue, un mètre par exemple, que nous supposons placé en AB ou en *ab* ; joignons ces extrémités au point de fuite O, nous aurons la valeur du mètre dans les plans compris entre B et O, et par conséquent la hauteur réelle des objets existant dans chacun de ces

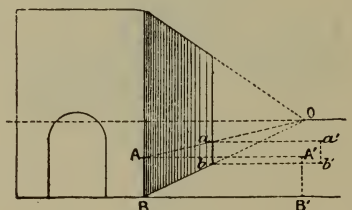


Fig. 685.

plans. Les objets placés sur une ligne oblique à l'axe optique subissent des réductions égales à celles que subissent leurs projections sur cet axe. Si l'on connaît la hauteur de la ligne d'horizon, c'est-à-dire la hauteur de l'axe optique de l'objectif (cet axe étant horizontal) au-dessus du sol, cette hauteur pourra servir d'échelle pour déterminer les dimensions diverses du monument de la même façon que si l'on avait placé un mètre sur ce monument avant de le photographier. On voit donc qu'avec une seule photographie on a tous les éléments nécessaires pour reconstituer avec une précision très suffisante les dimensions du monument. Les principes suivants permettront de déduire les dimensions exactes des corps de leurs dimensions apparentes sur photographies [1].

Tout objet vertical placé dans la direction de l'axe optique donne sur la glace dépolie une image dont la hauteur est proportionnelle à la distance focale de l'objectif et en raison inverse de la distance de l'objet à l'objectif.

Tous les objets situés dans un même plan parallèle à la glace sont, quelle que soit la distance à l'objectif, réduits dans les mêmes rapports sur la glace dépolie.

Tous les objets situés en dehors du plan parallèle à la glace dépolie subissent sur cette dernière la même réduction que celle de leur projection sur le plan vertical passant par l'axe optique.

1. Dr G. Le Bon, *Les levers photographiques et la photographie en voyage.*

Connaissant l'azimut d'une ligne verticale et la réduction de cette ligne sur la glace dépolie, il est toujours possible de déterminer sa position relativement au plan vertical passant par l'axe optique.

Les angles horizontaux et verticaux sont exprimés sur la glace dépolie de la chambre noire par leurs tangentes et peuvent par conséquent se lire facilement.

Toutes les lignes verticales et horizontales d'un monument parallèles à la glace dépolie restent sur la photographie verticales et horizontales ; celles qui sont horizontales et parallèles dans un monument et qui sont placées obliquement relativement à la glace dépolie convergent toutes sur un ou plusieurs points de fuite situés sur la ligne d'horizon ; toutes les lignes verticales du monument restent verticales.

La hauteur comprise entre les fuyantes passant par les extrémités d'une

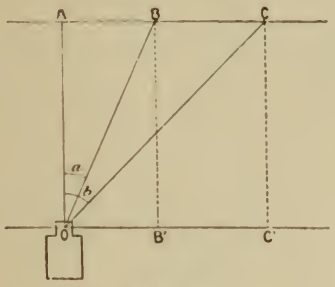


Fig. 686.

ligne verticale de grandeur connue placée dans un plan quelconque permet de déterminer l'échelle de tous les autres plans.

Par exemple, supposons la chambre noire placée en O (*fig. 686*) et sa glace dépolie parallèle à la façade AC du monument, ce que l'on reconnaît au parallélisme des lignes horizontales de cette façade et des lignes horizontales de la glace dépolie, soit OA la direction de l'axe optique. Si nous plaçons verticalement un mètre aux points A, B, C, et si nous photographions ces trois mètres, bien que les distances OA, OB, OC soient différentes, les trois mètres auront exactement la même grandeur sur la glace dépolie de la chambre noire ; ils pourront donc permettre de calculer les distances AO, BB', CC' égales entre elles. Pour calculer OB et OC, il faudrait connaître les angles a et b.

En pratique, pour mesurer la hauteur de l'axe de l'objectif au-dessus du sol, on se sert de cannes métriques rentrantes semblables à celles employées pour mesurer la hauteur des chevaux. On amène l'équerre au niveau de la partie la plus élevée du parasoleil, on lit la hauteur, soit H, on amène ensuite l'équerre au niveau de la partie la plus basse du parasoleil, soit h cette hauteur. La hauteur de l'axe de l'objectif au-dessous du sol est $h + \left(\frac{H - h}{2}\right)$.

Pour obtenir avec une seule photographie le plan d'un terrain horizontal, le Dr Le Bon conseille de procéder de la manière suivante : au lieu de mesurer

une base, on place aux points A, B, C, etc., à déterminer (*fig. 687*) des mires de hauteur connue, ou, s'il s'y trouve des arbres ou des constructions, de tracer sur les uns ou sur les autres une marque à hauteur connue. En dirigeant l'axe optique de l'appareil sur OA, la distance OA sera connue par la réduction de la mire placée en A. Les mires en C, B, O donneront la longueur OD′ OB′ OC′ sur l'axe optique. Avec ces longueurs et les angles *a*, *b*, *c*, *d*, mesurés sur la glace dépolie, on a tout ce qu'il faut pour obtenir, par intersections, la position réelle des points A, B, C, D, c'est-à-dire le plan du terrain qu'il s'agit de déterminer.

Si l'objectif est bien monté, c'est-à-dire si son axe optique se projette sur le zéro de la graduation, tous les objets qui sur la glace dépolie se trouveront sur la ligne d'horizon, c'est-à-dire sur la ligne passant par le zéro,

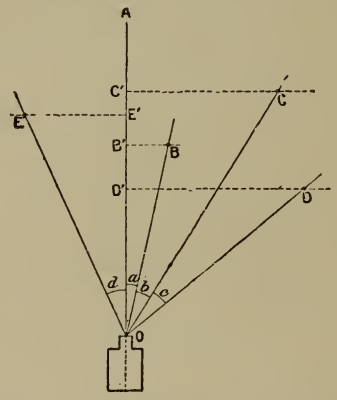


Fig. 687.

seront au-dessus du sol à une hauteur précisément égale à celle du centre de la glace dépolie. Ce procédé est exact lorsque le terrain est horizontal, et on pourra l'utiliser pour la mensuration des monuments qu'on peut bien photographier, mais dont on ne peut approcher parce qu'un fossé, une grille ou un obstacle quelconque en sépare ; mais il vaut mieux photographier avec le monument une ou plusieurs mesures qui constituent une sorte d'enregistrement automatique des dimensions.

Les procédés du Dr Le Bon permettent de remplacer, pour le lever d'un monument, la méthode de Laussedat ; ils sont incontestablement plus rapides et donnent en pratique des résultats d'une exactitude suffisante.

§ 2. — PHOTOGRAPHIE SUR PLAQUES COURBES.

950. Inconvénients que présente la photographie plane. — On a fait de nombreux reproches à la photographie plane[1]. On a d'abord repro-

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, p. 93.

ché aux épreuves positives obtenues sur papier albuminé d'être déformées par rapport au négatif; puis l'on a éprouvé une certaine difficulté à mesurer la distance focale principale de l'objectif, et cette longueur est d'une détermination délicate ; il faut, de plus, connaître très exactement la trace du plan horizontal passant par le point nodal d'émergence. Si de chaque station on fait un tour d'horizon complet, il faut un grand nombre d'images, et généralement ces images ne se raccordent pas exactement. En effet, soient deux négatifs contigus 1 et 2 (*fig. 688*). Pour mesurer l'azimu de y par rapport à x, on prend sur chaque négatif l'image d'un même objet m_1 et m_2, et l'angle cherché est égal à la somme $\omega_1 + \omega_2$ mesurés respectivement sur 1 et sur 2. Les deux images n'étant égales que pour la verticale qui se projette en p, l'image m_2 sera plus grande que m_1 ; par suite, le raccord exact de deux épreuves contiguës ne pourra se faire que sur cette verticale commune. Si l'on passe de 2 à 3 (*fig. 689*), on aura de même l'au-

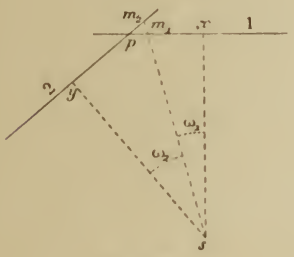


Fig. 688.

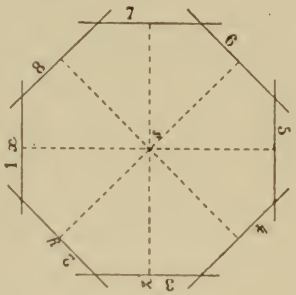


Fig. 689.

gle ysz, et ainsi de suite. La somme de tous les angles analogues formés autour de s devra être égale à quatre angles droits : s'il y a distorsion en dedans, les angles ω_1, ω_2 ... seront moindres qu'en réalité, et leur somme sera inférieure à quatre angles droits ; elle sera supérieure si la distorsion est en dehors ; il faut donc corriger cette erreur, ce qui amène des complications dans les mesures d'angles. Si l'on veut produire des épreuves sans distorsion, il faudra n'utiliser qu'une partie du champ, et pour un tour d'horizon complet faire dix à douze vues environ, ce qui augmente le travail photographique.

Les objectifs par diffraction (chambres noires sans objectifs) ne donnent pas d'images assez nettes pour qu'on puisse les employer : il faut donc faire un nombre de négatifs assez grands pour obtenir la vérification précieuse :

$$\omega_1 + \omega_2 + \dots \omega_n = 4^d .$$

Dans la pratique, l'appareil photographique ne tourne pas autour du point nodal d'émergence ; le point de vue n'est donc pas le même pour toutes les perspectives. L'appareil tourne autour d'un point O (*fig. 690*) ; par suite, la perspective 2′ que l'on devrait avoir et la perspective 2 que l'on obtient ne sont pas identiques. Ce sont comme deux vues stéréosco-

piques prises des points s_1 et s_2; les alignements ne sont plus les mêmes, et les déplacements des points sont d'autant plus sensibles que ces points sont plus rapprochés de l'observateur. Il en résulte que les parties communes à 1 et à 2 ne se ressemblent pas, non seulement comme dimension, mais même comme disposition; de là, de nouvelles corrections à introduire.

On voit donc que la mesure de chaque azimut, de chaque pente, exige une construction particulière, deux mesures de longueur et un calcul; la définition géométrique de la perspective n'est pas toujours complète et exige alors une série d'observations délicates, absolument distinctes du lever;

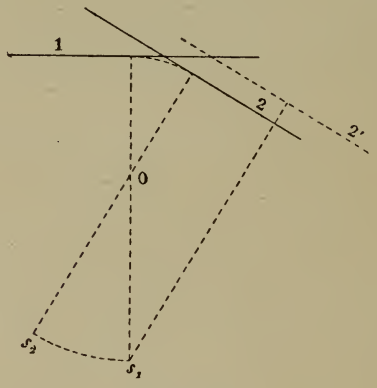


Fig. 690.

enfin, il faut un grand nombre de négatifs qu'il est difficile en pratique de raccorder exactement, ce qui enlève toute précision dans la mesure des azimuts.

951. Photographie cylindrique. — Si la perspective, au lieu d'être prise sur un plan est prise sur un cylindre de révolution dont l'axe passe par le point de vue s (*fig. 691*), il devient facile de déterminer les éléments ω et α d'une visée quelconque SM; l'azimut ω est proportionnel à l'arc sous-tendu xm, qui dans le développement du cylindre sur un plan devient la longueur x_1m_1; on a :

$$\text{tang } \alpha = \frac{mm'}{ms} = \frac{m_1m'}{ms};$$

ms est constant, c'est le rayon du cylindre (distance focale principale de l'objectif); donc tang α est proportionnel à mm' ou à $m_1m'_1$.

On voit donc qu'il suffit, après avoir développé l'image sur un plan, de tracer deux échelles à divisions égales, l'une suivant jk

pour les azimuts, l'autre suivant une perpendiculaire à $k'k$ pour les pentes. Il suffit donc de faire une simple mesure de longueur sur une échelle régulière.

952. Cylindrographe topographique. — Moessard a fait ajouter à son cylindrographe quelques pièces additionnelles qui permettent de l'employer à la topographie. Les trois branches du pied ne présentent qu'une brisure pour augmenter la stabilité ; deux de ces branches portent à la brisure même une crémaillère, un pignon et une vis de pression permettant d'en faire varier légèrement la longueur sans rien déranger et, par conséquent, d'amener

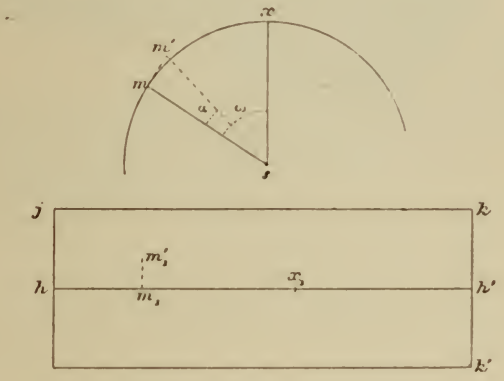


Fig. 691.

aisément la chambre à l'horizontale, conformément aux indications de deux *niveaux à bulle d'air* encastrés à angle droit sur le couvercle.

Les échelles d'azimut et de pente s'impriment d'elles-mêmes sur le négatif à l'aide de deux demi-cercles, ayant leur centre sur l'axe de rotation et placés de champ sur le plafond et les planches de la chambre ; leur bord libre porte des dents triangulaires dont l'écartement correspond au *grade* (la circonférence comprend 400 grades). Deux autres lames rectilignes verticales, fixées au montant du cadre, portent de même des crans dont l'écartement est égal à la centième partie de la distance des lames à l'axe. Deux pointes plus longues mobiles le long de ces lames donnent la ligne d'horizon ; l'appareil se replie facilement pour le transport (*fig. 692*). Les silhouettes

des dents du cercle, celles des montants des pointes viennent se peindre sur le négatif pendant la pose.

Chaque négatif peut être orienté sur le méridien magnétique. Dans ce but, le plancher de la chambre est muni à l'intérieur d'un troisième demi-limbe LL (*fig. 693*) posé à plat et centré également sur l'axe de rotation ; ce limbe est divisé en grades, et ses graduations correspon-

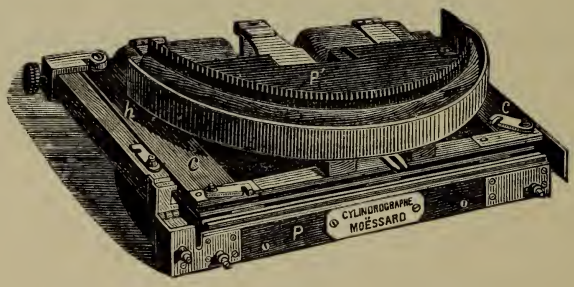


Fig. 692.

dent à celles du demi-cercle antérieur de la boussole. Deux curseurs CC mobiles sur ce limbe portent chacun un index, l'un en flèche, l'autre en croissant, qui s'impriment sur le négatif pendant la pose. L'appareil étant mis de niveau, on l'oriente sur la vue à reproduire ; l'aiguille de la boussole marque alors une certaine graduation, soit

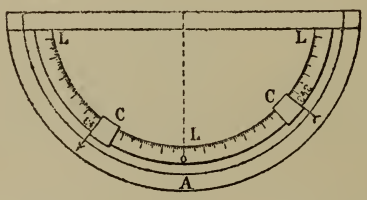


Fig. 693.

43^{g}. On place les curseurs intérieurs en face des deux divisions égales à cette graduation ou n'en différant que par le chiffre des centaines, par exemple 43^{gr} et 343^{gr} ; la flèche (43^{gr}) donne le nord et le croissant (343^{gr}) donne l'ouest magnétique. On introduit le châssis (*fig. 694*) comme dans le cylindrographe ordinaire, on ouvre le rideau de pose et on vérifie si la pointe bleue de l'aiguille de la boussole marque 43^{gr} ; on ouvre l'objectif, on met l'alidade en marche à la main et on ferme l'objectif. On fait le négatif suivant et on inscrit sur

son carnet les significations diverses des curseurs pour chaque vue.

Les avantages que présentent l'emploi du cylindrographe topographique sont nombreux. Les opérations s'effectuant soit sur papier négatif, soit sur pellicule souple, les constructions et mesures peuvent se faire sur le négatif. La distance du point de vue au tableau est obtenue par construction ; on n'a donc pas à s'en préoccuper. Lorsque l'appareil est réglé, la distance focale est justement égale au rayon du cylindre ; la distorsion n'est pas à craindre parce que s'il y avait distorsion les images manqueraient de netteté ; l'excentricité des diverses poses n'a plus d'inconvénient puisque chaque plaque est orientée pour son compte propre sur les points cardinaux magnétiques : les raccords se font d'eux-mêmes et n'ont pas d'importance ;

Fig. 694

enfin, le tour d'horizon peut être fait sur deux plaques et un huitième de plaque : il est d'ailleurs presque toujours inutile de faire un tour d'horizon complet.

Les perspectives cylindriques ainsi obtenues et développées sur un plan présentent parfois un effet bizarre : les lignes droites de la nature (sauf les verticales et la ligne d'horizon) se transforment en sinusoïdes ayant pour axe la ligne d'horizon et pour longueur d'oscillation horizontale la demi-circonférence du cylindre. Pour obtenir une restitution fidèle de la nature, il faut enrouler l'épreuve sur un cylindre de rayon égal au cylindre tableau et de se placer soi-même sur l'axe de ce cylindre : alors les lignes droites redeviennent droites et tout reprend sa forme et sa place. Un procédé de restitution plus général consiste à enrouler l'épreuve sur la paroi extérieure d'un cylindre quelconque et à la regarder du dehors en faisant tourner le cylindre à la main.

953. Autres procédés. — Les inconvénients de la photographie plane ont fait chercher bien des solutions de la photographie sur surfaces courbes ; mais, sauf la photographie cylindrique, aucune n'a fourni de résultats pra-

tiques. La planchette Chevalier, qui était à deux mouvements combinés, n'a donné que des images confuses. Le périgraphe instantané du colonel Mangin, qui a figuré à l'Exposition universelle de 1878, est un appareil très ingénieux : il se compose d'une lentille torique spéciale à axe vertical recueillant les rayons lumineux venus de tous les points de l'horizon et les renvoyant former leur image sur un plan horizontal. Ces appareils donnent le tour d'horizon en un seul négatif; mais le panorama, déformé par anamorphose, est difficile à reconstituer, ne ressemble plus à la nature et ne présente d'intérêt qu'au point de vue des mesures topographiques.

Quant aux vues obtenues à l'aide d'appareils panoramiques sur surfaces planes, ils peuvent, se déroulant devant la fente placée au foyer de l'objectif, rentrer dans le cas des vues cylindriques développées sur un plan. Mais les déformations particulières que ces appareils communiquent aux images nécessitent des complications assez grandes; après quelques essais on n'a pas tardé à les abandonner. Il en a été de même des petits appareils destinés à fournir des épreuves que l'on agrandissait ensuite. Mangin avait imaginé de prendre les distances au moyen d'une échelle micrométrique graduée et d'augmenter ensuite les abscisses dans un certain rapport correspondant à l'augmentation de distance focale; mais ce procédé est fort long dans la pratique; il supprime tous les avantages de la méthode photographique.

954. Emploi de la topophotographie. — On ne doit pas oublier que la méthode photographique ne saurait remplacer toutes les méthodes de lever; c'est un procédé à joindre aux procédés connus. On doit l'employer quand il faut opérer par intersection et qu'il y a beaucoup de points à lever; on ne doit pas l'utiliser pour les plateaux non dominés et les forêts.

Toutes les nations se sont occupées des levers photographiques par la méthode de Laussedat, et de nombreux levers ont été faits par ce moyen dans les armées étrangères. En France, Javary [1] a levé, de 1863 à 1867, plus de 70,000 hectares de terrain par cette méthode; il peut paraître étonnant qu'une méthode si précieuse soit si peu employée.

Les causes du peu de succès obtenu en général par ceux qui se sont occupés du lever photographique sont nombreuses. On a considéré cette méthode comme devant remplacer les autres, et on l'a appliquée dans des cas où l'on devait la proscrire : ainsi on a fait des essais de lever dans un terrain horizontal sans détails; on prenait à chaque station un tour d'horizon et l'on arrivait à construire moins de points qu'on n'avait fait d'épreuves. On a perdu de vue le principe de la méthode et l'on a supposé que l'on devait choisir les stations autrement que pour un autre lever par intersection; par exemple, on a pris les stations de telle manière que les intersections étaient impossibles, tantôt par suite du choix de bases trop longues, tantôt au contraire parce que les vues du même terrain étaient prises l'une derrière l'autre et se doublaient. Le nombre des stations est toujours le même quel que soit l'appareil employé; il dépend du terrain et non de l'instrument. L'instrument photographique ne fait qu'enregistrer rapidement et sûrement

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1887, p. 79.

les éléments d'un lever à la planchette et multiplier les données en quelque sorte à l'infini [1].

Il ne faut pas oublier que la méthode des levers photographiques doit être employée toutes les fois qu'on aurait recours à la méthode des intersections, surtout lorsqu'on doit rester sur le terrain aussi peu de temps que possible; ces cas peuvent se présenter dans la reconnaissance des places fortes au point de vue d'un siège. La topophotographie peut aussi rendre des services lorsqu'il s'agira de la défense d'une place; enfin, en temps de paix, elle permettra d'étudier les places fortes à grande distance; elle permettra de reconnaître rapidement et avec exactitude des étendues considérables dans des régions pour lesquelles on n'a point de cartes.

Les procédés de topophotographie entreront tout à fait dans la pratique lorsque les pellicules photographiques permettront d'opérer avec autant de sécurité que si l'on employait des glaces et que les opérateurs seront persuadés que l'usage de l'hyposulfite de soude et des lavages qu'il entraîne peut être supprimé si, après avoir débarrassé la pellicule du révélateur dont elle est imbibée, on la plonge dans une solution de bromure de potassium à 10 %, puis dans l'eau alcoolisée. Dans ces conditions, l'image photographique peut se prêter aux travaux de mesures, et pourvu qu'on ne l'expose pas à une lumière trop vive, elle ne s'altère presque pas. On évite ainsi les principaux inconvénients des travaux de campagne, travaux pour lesquels l'opérateur n'a toujours qu'un matériel incomplet et grossier, et auquel le plus souvent le temps et l'eau font presque absolument défaut.

§ 3. — PROCÉDÉS DIVERS.

955. Photographie à longue distance. — Le premier appareil spécialement combiné pour obtenir la photographie d'objets placés à longue distance a été construit en 1869 par Borie et de Tournemire [2]; l'instrument était désigné sous le nom de microscope solaire portatif et photographique. Parmi les usages nombreux (huit ou dix) auxquels il pouvait se prêter, on pouvait le transformer en lunette terrestre et en appareil à photographie télescopique. On adaptait la lunette terrestre à la chambre noire; elle permettait d'obtenir des photographies d'objets à longue distance que la photographie ne pouvait donner dans des proportions saisissables.

A l'aide de cet appareil, qui était composé d'un objectif et d'un oculaire photographique (exactement comme dans le photohéliographe de Kew), l'opérateur pouvait obtenir des images plus ou moins grandes, selon les besoins de la circonstance. Borie et de Tournemire ont précisé dans leur instruction pour le maniement de cet appareil les précautions à observer. Plus on éloigne la glace dépolie de l'objectif, plus les images sont grandes, et inversement; la mise au point se fait au moyen de la vis de rappel qui commande la lentille oculaire de la lunette. Si l'on ne voulait pas se servir de la vis de rappel de la lunette, on cherchait le point en rapprochant ou

1. Javary, *Mémorial de l'Officier du génie*, n° 22, 1874.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1869, p. 132.

éloignant la glace dépolie de l'objectif télescopique. Avec cet appareil on pouvait saisir les détails d'ornementation hors de portée pour les appareils ordinaires; le photographe paysagiste pouvait fixer sur sa plaque les sites inaccessibles et d'après une échelle de son choix, etc.

L'appareil, semblable à ceux qui avaient été employés à d'autres usages et comme tous ceux qui ont été utilisés depuis, se composait d'une lentille à long foyer formant une image aérienne d'un objet éloigné; cette image réelle était reprise par un petit objectif à court foyer faisant fonction d'oculaire de projection. La grandeur de l'image projetée sur la glace sensible dépendait, pour un même objectif, de la distance à laquelle on plaçait la glace dépolie de l'oculaire et de la distance de ce dernier à l'image aérienne; ces distances étaient d'ailleurs déterminées par la loi des points conjugués, comme dans tous les appareils d'agrandissement.

L'appareil Borie et de Tournemine fut peu employé. Il y a quelques années, lorsque l'emploi des plaques au gélatino-bromure rendit populaire la photographie astronomique, plusieurs opérateurs essayèrent d'appliquer de nouveau les procédés de photographie à longue distance employés depuis longtemps pour les astres et pour les objets terrestres par Borie et de Tournemine; quelques résultats intéressants ont été obtenus en France par le service géographique de l'armée. L'emploi de cette méthode a montré qu'elle pouvait être utile pour le lever des détails situés très loin, ou bien pour permettre de fixer d'une manière précise l'état de certains travaux inaccessibles et situés trop loin pour que la photographie permette de les reproduire.

Les appareils qu'il convient d'employer sont : 1° l'une des lentilles d'un objectif aplanétique à long foyer : la surface convexe de la lentille est tournée vers l'objet à reproduire; 2° un petit objectif rectilinéaire de 0^m80 à 0^m10 de foyer qui reprend l'image réelle formée par la lentille simple et la projette sur la surface sensible. On se sert d'une chambre noire à long tirage portant les deux objectifs, l'un à la place de la glace dépolie, l'autre à la place habituelle; on adapte en regard du petit objectif une chambre noire du format $0^m13 \times 0^m18$, sur laquelle on obtient l'image plus ou moins agrandie.

956. Photographie en ballon. — Les photographies prises en ballon à une altitude suffisante peuvent donner une planimétrie très exacte du terrain. Les premiers essais de cette nature furent faits par Nadar père, en 1858; il obtint alors des images qui ne laissaient aucun doute sur la valeur des résultats que pouvait fournir la photographie en ballon. En 1861, pendant la guerre de la sécession, on appliqua avec succès les aérostats à l'art de la guerre; ils permirent d'obtenir des indications précieuses sur la position des armées en présence. En mai 1862, devant Richmond, l'armée unioniste lança au-dessus de la ville un ballon captif qui rapporta une photographie de la place assiégée. La photographie ainsi obtenue fut tirée à deux exemplaires; on les divisa en 64 parties comme un champ de bataille, avec les signes conventionnels A, A_2 ..... A_{64}. Le général Mac Clellan eut un de ces exemplaires, le conducteur du ballon eut l'autre. Le 1er juin 1862 le ballon s'éleva à environ 350 mètres au-dessus du champ de bataille et se mit en relations avec le quartier général par un fil télégraphique; il put ainsi signaler très rapidement et avec une grande exactitude les mouve-

ments de l'ennemi. Le succès du général Mac Clellan fut complet grâce à l'emploi des aérostats, de la photographie et du télégraphe.

Ces premières tentatives couronnées de succès furent à peu près oubliées. Nadar, en 1868, obtint des photographies qui représentent une portion de Paris. Le négatif n'était pas d'une netteté absolue, mais donnait tout ce qu'il était possible d'obtenir au moyen des anciens procédés du collodion humide. Dagron, en 1878, obtint dans la nacelle du ballon captif de Giffard une assez bonne épreuve de la dimension $0^m22 \times 0^m28$.

Tous ces essais avaient été faits en ballons captifs. M. Triboulet essaya, le 8 juin 1879, d'exécuter les opérations photographiques en ballon libre et en se servant de plaques préparées au gélatino-bromure. Il fit poser une plaque à 500 mètres au-dessus de Paris; malheureusement, à la descente, des employés de l'octroi ouvrirent les châssis photographiques *pour voir ce qu'il y avait dedans* [1].

C'est M. Desmarets qui, le 14 juin 1880, obtint en ballon libre les premiers négatifs sur glace au gélatino-bromure. Il se servit d'un aplanétique de $0^m,24$ de foyer construit par Derogy et d'un obturateur instantané; les images obtenues dans des conditions défavorables sont assez bonnes.

V. Shadbolt et W. Dale obtinrent, en 1883, de belles images photographiques sur glace au gélatino-bromure. Les négatifs obtenus présentent une grande netteté et supportent très bien l'agrandissement; il en est de même des épreuves obtenues le 19 juin 1885 par Tissandier et J. Ducom, par Pinard, le 14 juillet de la même année. Ce dernier obtint de bons négatifs sur des plaques au gélatino-bromure de la dimension $0^m18 \times 0^m24$, en se servant d'un obturateur Thury et Amey et d'un objectif aplanétique. C. Renard et Georget ont obtenu en ballons d'excellents images, le 18 juillet 1885; mais les plus belles séries de négatifs qui aient été produites en ballon sont celles faites par Paul Nadar, fils du célèbre photographe auquel on doit les premiers essais de photographie aérienne. Dans les ascensions du mois de juillet 1886 faites avec les frères Tissandier, P. Nadar a réussi des photographies qui, par la finesse de leurs détails et l'exactitude de leur ensemble, démontrent que la photographie en ballon doit être considérée comme un auxiliaire précieux de la topographie. Les négatifs faits dans la nacelle de l'aérostat sont aussi beaux, aussi nets que les meilleurs de ceux que l'on produit à terre; ils donnent immédiatement la planimétrie du terrain si l'axe de l'objectif est vertical au moment de la pose, condition assez facile à réaliser.

Les procédés photographiques employés en ballon libre sont ceux de la photographie instantanée sur plaque au gélatino-bromure d'argent. L'axe de l'objectif doit autant que possible être vertical. Certains opérateurs ménagent dans le fond de la nacelle un trou destiné à laisser passer l'objectif, d'autres fixent l'appareil photographique en dehors de la nacelle. Il est bon d'employer des objectifs à long foyer; c'est ainsi que pour une plaque normale ($0^m18 \times 0^m24$, qui est la dimension maxima que l'on puisse emporter), on se servira d'objectifs ayant de $0^m,40$ à $0^m,50$ de foyer. Ces objectifs diaphragmés au 25^e du foyer donnent des épreuves absolument nettes si l'obturateur est assez rapide et la vitesse de translation de l'aérostat assez

1. Tissandier, *La Photographie en ballon*, p. 14.

faible. La vitesse de l'obturateur doit être aussi grande que le permettent les conditions de netteté imposées à la plaque par l'ouverture du diaphragme. Des essais faits au préalable sur le sol donneront des indications utiles pour la vitesse d'obturateur qu'il convient d'employer. Le temps de pose doit être plus court que celui qui est nécessaire pour obtenir une image à la surface du sol.

L'emploi des ballons captifs non montés a fait l'objet de nombreux travaux de la part de Woodbury[1]. Il a imaginé, en 1881, un appareil permettant de mettre la plaque sensible en place par rapport à l'objectif, et de faire fonctionner l'obturateur instantané à l'aide de deux fils qui aboutissent à deux boutons de mise au contact. L'appareil est suspendu sous un ballon captif; l'objectif est placé dans une position verticale sous la chambre noire. Dans l'intérieur de celle-ci se meut un obturateur instantané circulaire, qui tourne par la tension d'un ressort et dont les déclenchements successifs s'effectuent à l'aide d'un électro-aimant. Il suffit d'une pression sur le bouton, situé à portée de l'opérateur, pour ouvrir un déclenchement. Quatre plaques sensibles sont placées à l'intérieur de la chambre, sur un tambour carré, susceptible de tourner autour d'un axe, et placées de telle sorte qu'elles se trouvent automatiquement au foyer de l'objectif; à l'aide du bouton réservé au jeu de plaques sensibles, l'on fait agir un déclenchement qui permet à chaque plaque de venir prendre sa place en face de l'objectif. Dès que l'une des plaques a été amenée à la position voulue, l'on pousse le deuxième bouton pour mettre en mouvement l'obturateur; puis, l'on n'a qu'à presser sur le premier bouton pour faire tourner la plaque impressionnée; elle se meut d'un quart de cercle et elle est remplacée par la plaque suivante.

M. Triboulet[2] a construit, en 1884, un appareil de photographie aérostatique formé d'une caisse hexagonale à six objectifs latéraux et à un objectif vertical, capables de fonctionner attachés à un ballon captif libre, ne contenant pas d'aéronaute, et cela sous l'action d'un commutateur électrique manié à terre. L'appareil comprend sept chambres noires distinctes : six pour le panorama, et la septième pour le plan. Chacune de ces chambres est munie d'un objectif ayant un même foyer et d'un obturateur à guillotine maintenu en place par une armature d'électro-aimant formant verrou. Quand un courant passe, l'armature attirée déclenche le volet qui, sollicité par un ressort en caoutchouc, glisse rapidement l'objectif et donne un temps de pose suffisant pour le plein soleil. Tout l'appareil est disposé dans un panier spécial et suspendu par un joint à la Cardan sous le cercle d'un aérostat maintenu captif; un câble indépendant relie les électro-aimants avec une pile placée à terre. L'opérateur peut ainsi, au moyen d'un commutateur, envoyer le courant au moment convenable et faire poser chaque plaque.

957. Photographie aérienne par cerf-volant. — M. A. Batut[3] a utilisé un cerf-volant pour enlever l'appareil photographique. Il s'est d'abord servi d'un cerf-volant ordinaire[4], puis a été conduit à construire un appa-

1. *Aide-Mémoire de photographie pour* 1882, p. 118.
2. Tissandier, *La Photographie en ballon*, p. 23.
3. *La Photographie aérienne par cerf-volant*, 1890.
4. *La Nature*, 26 février 1887.

reil plus léger. La chambre noire employée doit être très légère, très solide, et la planchette d'objectif est d'une fixité absolue par rapport à la surface sensible. L'instrument consiste en une boîte cubique de bois blanc de 0m004 d'épaisseur, dont les joints sont simplement cloués et collés ; intérieurement la chambre est peinte en noir mat, extérieurement elle est recouverte de papier noir à aiguilles. L'objectif, pour éviter les chances d'accident, est fixé à l'intérieur de la chambre noire. Au lieu de châssis, M. Batut emploie une planchette de noyer de 0m002 d'épaisseur, pouvant entrer dans la chambre noire ; sur cette planchette on fixe la pellicule sensible à l'aide de bandes de papier gommé appliquées sur ses quatre côtés. La mise au

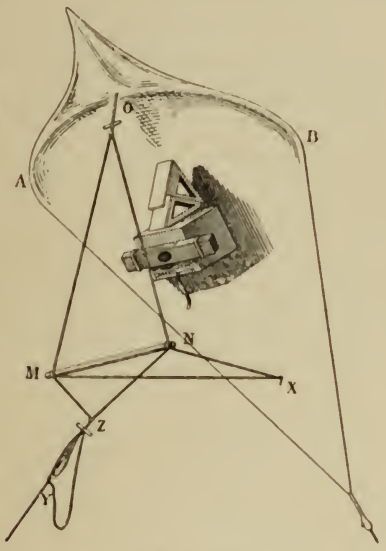


Fig. 695.

point de l'objectif a été faite une fois pour toutes. La chambre noire est fixée à un support qui lui-même fait corps avec l'axe du cerf-volant. Pour que l'axe optique de l'objectif soit sensiblement vertical, le support de la chambre noire doit faire un angle de 33° avec la verticale. Ce support est fixé en un point déterminé par l'expérience. En divisant la longueur de l'axe vertical par 10 on obtient une unité : c'est entre la quatrième et cinquième unité que l'on doit placer la chambre noire (*fig. 695*). Pour éviter que l'épreuve ne soit traversée par l'image de la bride, on modifie la disposition des cordes qui la constituent comme l'indique la figure; on obtient ainsi, à l'aide d'une sorte de palonnier en roseau MN, deux fenêtres, l'une OMN, servant pour les vues horizontales, l'autre XMN, qui permet d'employer l'appareil lorsque l'axe de l'objectif est vertical; l'olive de la corde de manœuvre se fixe sur la boucle Z.

La chambre noire est munie d'un obturateur à guillotine en bois très léger ; cet obturateur reste armé au moyen d'un fil de coton qui est brûlé au bout

de quelques minutes par une mèche à temps allumée au moment du départ de l'appareil. La surface sensible est constituée par une pellicule photographique. Cette surface est bien plus légère que le verre; de plus, elle peut résister facilement aux accidents qui peuvent se produire pendant la descente.

Lorsque la mèche d'amadou est allumée et le cerf-volant enlevé, il peut arriver que, par suite de la violence ou de l'irrégularité du vent, le cerf-volant éprouve des secousses. Dans ce cas, quelques secondes avant le déclenchement (ce qu'il est facile d'apprécier si l'on a bien mesuré la mèche et noté exactement l'heure), il faut marcher dans le même sens que le vent avec une vitesse suffisante pour que le cerf-volant ait une tendance à descendre; dans ces conditions, il retrouvera la stabilité nécessaire à l'obtention d'une épreuve.

Les photographies obtenues par ce moyen nous ont été communiquées par M. Batut. Ces images montrent que la photographie aérienne par cerf-volant peut suppléer le ballon captif lorsque le vent empêche ce dernier de s'élever. Par un temps calme, il est possible de faire monter un cerf-volant à une hauteur suffisante pour prendre une vue perspective assez étendue.

M. Batut a proposé de faire emporter par un cavalier au trot l'extrémité de la corde de manœuvre entièrement déroulée. La photographie obtenue, le cavalier doit s'arrêter sans abandonner l'extrémité de la corde, et l'on voit le cerf-volant descendre avec une lenteur et une régularité telles que les appareils qu'il porte n'ont rien à redouter.

Il est incontestable que le cerf-volant peut être rapidement mis en état de s'élever dans les airs, et, sous ce rapport, il est d'un maniement plus commode que le ballon captif, qui est toujours encombrant et coûteux.

958. Appareil à fusée volante. — M. Amédée Denisse[1] a essayé d'obtenir une photographie à vol d'oiseau au moyen d'un appareil enlevé par une fusée volante, redescendant en parachute. L'instrument consiste en une toute petite chambre noire cylindrique ayant douze objectifs régulièrement espacés sur sa circonférence et séparés par des cloisons. Le châssis à double enveloppe, de forme cylindrique, maintient en place une pellicule sensible et est placé au centre de la chambre. Derrière les objectifs, un obturateur dit à guillotine, de forme cylindrique, est percé de trous en regard des objectifs; il fonctionne par son propre poids : suspendu à une mèche d'artifice que la fusée brûle au terme de son ascension, l'obturateur, en tombant, ouvre et referme instantanément les ouvertures; à la fin de cette même mèche se trouve la détente du parachute qui se déploie, et la fusée retenue captive par une cordelette est ramenée à son point de départ.

M. le colonel Laussédat a fait connaître récemment un procédé permettant de transformer les projections obtenues sur des plans obliques à l'horizon, comme c'est le cas lorsque l'on fait de la photographie aérienne par cerf-volant. Il faut connaître la hauteur du point de vue au-dessus du terrain, la distance du point de vue au tableau, et l'inclinaison du plan du tableau sur l'horizon. Lorsque l'on a obtenu plusieurs photographies du même site, mais de stations aériennes différentes, soit en ballon, soit à

1. *La Nature*, 1888, II, p. 263.

l'aide d'un cerf-volant, pourvu que la localité contienne un cours d'eau, ou même des routes à pentes faibles, on parviendra sans peine à déterminer sur chacune d'elles, avec une précision suffisante, un certain nombre de points isolés choisis parmi les plus reconnaissables, comme les extrémités d'une digue, les arches d'un pont au niveau de l'eau, les coudes de la rivière ou de la route, etc.

Ces points, retrouvés sur deux photographies au moins, deviendront autant de repères à l'aide desquels il sera aisé d'orienter les photographies, l'une par rapport à l'autre, pour les faire concourir simultanément à la construction du plan (et même au nivellement) par la méthode générale ordinaire. En effet, sur chacune des feuilles qui ont servi à déterminer les repères, la projection du point de vue, c'est-à-dire de la station aérienne, se trouve elle-même rapportée en quelque sorte spontanément. Si donc sur l'une d'elles on relève, avec du papier à calquer, trois ou quatre repères (deux suffiraient à la rigueur) et la station, en plaçant ce calque sur l'autre feuille, on déterminera immédiatement la position relative des deux stations.

Comme l'a démontré M. le colonel Laussédat, les stations aériennes deviennent ainsi tout à fait indépendantes les unes des autres, et il n'est pas nécessaire de se préoccuper d'un moyen de les relier entre elles, comme on relie habituellement les stations terrestres ou marines, par des mesures de distances et d'angle, par des triangulations ou cheminements, opérations qui sont à peu près irréalisables dans les conditions supposées.

L'économie de cette méthode si simple dépend naturellement de la précision des données que les perfectionnements des instruments enregistreurs rendront de plus en plus exactes; elle est appelée à rendre de grands services à l'art des reconnaissances [1].

BIBLIOGRAPHIE.

Batut. *La Photographie aérienne par cerf-volant.*

Le Bon (Dr Gustave). *Les Levers photographiques et la Photographie en voyage.*

Londe. *La Photographie moderne.*

Moessard. *Le Cylindrographe*, 1889.

Tissandier (Gaston). *La Photographie en ballon.*

1. *Comptes rendus*, 17 novembre 1890.

CHAPITRE IV

CHRONOPHOTOGRAPHIE.

§ 1. — APPLICATIONS A LA PHYSIOLOGIE.

959. Méthodes d'observation. — La Chronophotographie est l'art de produire photographiquement des images successives prises à des intervalles de temps exactement mesurés. La chronophotographie permet de résoudre les divers problèmes de physiologie, de physique et de mécanique dans lesquels il faut déterminer, à des époques connues, la position d'un corps en différents points de l'espace.

Les premiers essais de chronophotographie sont dus à Onimus et à Martin, qui étudièrent les mouvements du cœur chez l'animal. Janssen, en 1874, employa cette méthode pour étudier, à l'aide du revolver photographique, le passage de Vénus sur le Soleil. Faye avait proposé depuis longtemps, pour observer les passages des astres au méridien, l'emploi d'une méthode[1] qui, en somme, rentre dans la catégorie des méthodes chronophotographiques.

La méthode d'observation est très simple en théorie : elle consiste à obtenir l'ouverture et la fermeture de l'objectif en des temps très courts et à des intervalles parfaitement déterminés; il existe plusieurs moyens d'atteindre ce résultat.

960. Procédé de Muybridge. — Certains problèmes d'analyse de la locomotion animale ont été abordés avec succès par Muybridge, de San Francisco. Il employait le procédé suivant : une piste était tracée devant un écran blanc orienté de manière à réfléchir la lumière solaire dans la direction d'une série d'appareils photographiques disposés à côté les uns des autres ; chaque appareil était muni d'un obturateur électrique. Les conducteurs étaient disposés sur la piste en face de chaque appareil : l'animal en expérience rompait les fils par son passage et déclenchait ainsi successivement les obturateurs au fur et à mesure qu'il avançait.

1. Voyez *Comptes rendus*, 1849.

Le procédé du collodion humide employé par M. Muybridge ne donnait pas de plaques assez sensibles pour photographier tous les détails du modèle; il obtenait une silhouette de ce dernier. L'écran était photographié, le sujet en expérience faisant réserve; il obtenait ainsi les renseignements nécessaires pour la locomotion. Ces photographies peuvent être obtenues plus facilement par l'emploi de plaques préparées au gélatino-bromure. Muybridge obtint aussi des photographies d'oiseaux au vol analogues à celles que M. Cailletet avait obtenues quelques années auparavant.

Les premiers essais de Muybridge se firent sur la locomotion du cheval. Il plaçait en batterie douze à trente chambres photographiques, dont les objectifs se découvraient successivement au moyen d'un dispositif électrique. Sur la piste se trouvaient tendus un certain nombre de fils que le cheval rompait dans ses évolutions; ces fils établissaient la communication électrique agissant sur les obturateurs. Suivant la vitesse de l'animal, l'intervalle entre deux épreuves consécutives variait de 1 seconde à $^1/_{100}$ de seconde.

En 1883, Muybridge entreprit ses études sur l'homme en mouvement. Sa batterie photographique était formée de quarante chambres avec objectifs de Dallmeyer, à obturateur électro-magnétique; il étudia ainsi le mouvement des animaux, des oiseaux et même des amphibies[1]. En 1885, il fit de nouvelles expériences au Jardin zoologique de Philadelphie, où il photographia, en employant trois séries de douze chambres, presque tous les quadrupèdes. Les animaux à robe claire se détachaient sur un fond noir et la robe sombre des autres se profilait sur un fond blanc.

Les expériences de Muybridge démontrèrent combien est imparfaite l'observation qui se pratique à l'œil nu. La photographie prouva d'une manière indiscutable que toutes les conceptions que l'on s'était faites jusqu'alors sur le mouvement des animaux étaient fausses.

961. Procédés de M. Marey. — M. Marey avait fait de nombreuses expériences sur la locomotion animale et était parvenu à inscrire les phases d'élévation et d'abaissement d'un oiseau qui vole, ainsi que diverses autres données très utiles pour l'étude de la locomotion. Les renseignements fournis par la méthode graphique étaient d'une grande précision; mais les notions dues à cette méthode étant incomplètes, M. Marey eut alors l'idée d'appliquer la photographie instantanée à l'étude du vol des oiseaux, en se servant d'un fusil photographique analogue au revolver que M. Janssen avait imaginé pour observer le passage de Vénus. Ce fusil donne une série d'images successives, prises à différents instants de la révolution de l'aile d'un oiseau; ces images, disposées sur un phénakisticope de Plateau, permettent de reproduire l'apparence du mouvement des animaux ainsi représentés.

M. Marey a construit d'abord un fusil photographique permettant de photographier douze fois par seconde l'objet que l'on vise; chaque image exige comme temps de pose $^1/_{720}$ de seconde. Le canon de ce fusil est un tube qui contient un objectif photographique; en arrière et solidement

1. Eder, *La Photographie instantanée*, p. 167.

montée sur la crosse, est une large culasse cylindrique dans laquelle est contenue un rouage d'horlogerie.

En pressant la détente du fusil, le ressort déclenché imprime aux diverses pièces les mouvements nécessaires aux opérations photographiques. Sur un arc central qui les commande toutes sont montées les différentes pièces du système. Cet arc ou pivot fait douze tours par seconde. Les pièces de ce mécanisme comprennent un disque opaque faisant fonction d'obturateur; derrière ce disque se trouve un second disque percé de douze fenêtres; contre la face arrière de ce disque s'applique la glace sensible ronde ou octogonale : cette glace, par une rotation interrompue douze fois, peut présenter aux rayons lumineux passant par l'objectif une portion nouvelle de sa surface. Un second obturateur ferme tout accès aux rayons lumineux aussitôt que les douze images ont été obtenues. Certains dispositifs spéciaux empêchent la plaque sensible en mouvement de dépasser le point où le cliquet doit l'amener et l'y maintiennent immobile. Un bouton de pression applique fortement la plaque contre le disque, qui est recouvert de velours noir, ce qui empêche tout glissement. La mise au point s'obtient par l'allongement du canon, et on peut la surveiller par une ouverture spéciale pratiquée dans la culasse du fusil. Une boîte à escamoter circulaire sert de magasin à vingt-cinq plaques; elle s'applique sur le fusil, et permet de changer en plein jour les glaces impressionnées contre des plaques fraîches.

Pour contrôler le fonctionnement de cet appareil, M. Marey l'a soumis à certaines épreuves expérimentales qui lui ont donné des résultats satisfaisants. C'est ainsi qu'il a photographié un pendule noir oscillant au-devant d'une règle blanche portant des divisions. Le pendule battait les secondes. Il obtint douze images représentant les positions successives occupées par le pendule aux différentes phases d'une oscillation complète.

Pour plus de sûreté dans la mesure des durées, M. Marey adapta au fusil un appareil chronographique formé d'une capsule à air qui reçoit un choc à chacun des déplacements de la plaque sensible; un tube de caoutchouc relie cette capsule à un appareil inscripteur qui trace un trait sur un cylindre tournant en même temps qu'un chronographe ou qu'un diapason d'un nombre de vibrations connu. De cette manière, la durée de l'impression lumineuse et l'intervalle de temps qui sépare les images les unes des autres sont mesurées avec une précision satisfaisante.

M. Marey a ainsi obtenu des images représentant les diverses phases du vol des oiseaux et a obtenu la confirmation par la photographie des points principaux qu'il avait établis par la méthode chronographique.

Lorsque l'on a ainsi obtenu des images successives dont chacune représente une attitude différente, il faut les comparer les unes aux autres et classer ces images en série d'après la position dans le temps et dans l'espace qui correspond à chacune d'elles. M. Marey a montré que l'on pouvait par l'emploi de la photographie réunir sur une même plaque une série d'images successives représentant les différentes positions qu'un être vivant, cheminant à une allure quelconque, a occupé dans l'espace à une série d'instants connus. Il faut pour cela, lorsqu'on a pris une première image, que la plaque conserve toute sa sensibilité dans les diverses portions de sa surface voisine de cette image. On obtient ce résultat d'une manière très simple : il

faut qu'au-devant de l'appareil règne une obscurité absolue et que l'homme ou l'animal qui passe se détache en blanc sur un fond noir. Pour obtenir un champ *noir absolu*, il faut recourir au moyen indiqué par Chevreul et se servir d'un écran constitué par une cavité dont les parois sont noires. Un homme, entièrement vêtu de blanc et vivement éclairé par le soleil, marche, court ou saute pendant que l'appareil photographique, muni d'un obturateur à rotation plus ou moins rapide, prend son image à des intervalles plus ou moins rapprochés. La fenêtre dont est percé le disque de l'obturateur tournant peut être à volonté élargie ou resserrée, de manière à régler la durée de la pose suivant l'intensité de la lumière ou suivant la vitesse de rotation du disque. Avec une fenêtre resserrée et une rotation lente on a des images très espacées les unes des autres; une rotation rapide donne des images plus rapprochées, mais dont le temps de pose pourrait être insuffisant si la fenêtre n'était pas élargie; enfin, un obturateur à volet, placé en avant de l'autre, sert à régler le commencement et la fin de l'expérience.

Pour appliquer cette méthode à l'analyse du vol des oiseaux, M. Marey fait voler le sujet parallèlement au plan de l'écran. Comme obturateur, il emploie un grand disque de 1 mètre de diamètre, muni de fenêtres assez larges (0m03) et tournant avec une vitesse d'environ 8 mètres à la seconde. Les effets de la diffraction qui altèrent la netteté des images quand on opère avec de petites fentes deviennent insensibles quand la fente a plus de largeur; en outre, une fente étroite qui tourne devant un large objectif ne donne jamais qu'un éclairage partiel. Dans l'appareil construit suivant les indications de M. Marey, les admissions de la lumière se font huit fois par seconde, et le temps d'éclairement est d'environ $^1/_{600}$ de seconde. Cette brièveté du temps de pose est encore une condition nécessaire à la netteté des images, car elle ne permet pas à l'oiseau de se déplacer sensiblement pendant qu'on en prend la photographie. Les résultats donnés par la photographie dans ce cas particulier sont en parfaite concordance avec ceux qui avaient été obtenus précédemment par M. Marey à l'aide des méthodes chronographiques. L'inscription du phénomène[1], péniblement obtenue au moyen d'instruments compliqués et délicats, n'avait pas inspiré une grande confiance à ceux qui s'occupent de l'étude du vol. La méthode photographique, tout en confirmant des résultats antérieurement acquis, a montré que ces résultats pouvaient s'obtenir assez facilement. En examinant la position de l'aile aux différentes phases de son parcours, la photographie révèle les détails les plus intéressants; elle permet aussi de déterminer les distances que parcourt l'oiseau entre deux poses consécutives si l'on place une échelle graduée en mètres parallèlement à la direction du mouvement.

Dans ces diverses expériences on emploie une chambre noire photographique placée assez loin de l'écran (environ 40 mètres); de cette distance, l'angle sous lequel se présente le sujet dont on prend les images change peu pendant la durée de son passage au-devant de l'écran noir. Le disque tournant atteint 1m30 de diamètre, et la fenêtre dont il est percé ne représente que $^1/_{100}$ de sa circonférence; il suit de là que si le disque fait dix tours par seconde la durée de l'éclairement n'est que de $^1/_{1000}$ de seconde. Le mouvement est imprimé au disque par un rouage qui se remonte avec une

1. *Comptes rendus*, LXXIV, p. 382.

manivelle et qui est actionné par un poids de 150 kilogrammes placé à l'arrière de la chambre roulante sur rails. Un frein permet d'arrêter le mouvement du disque ; un timbre manœuvré de l'intérieur sert à commander à un aide, soit la mise en marche, soit l'arrêt du disque. L'obscurité qui règne dans la chambre roulante permet d'y manipuler à l'aise les plaques sensibles et de les y changer à chaque nouvelle expérience.

L'écran noir est formé d'une sorte de hangar de 3 mètres de profondeur sur 15 de longueur et 4 de hauteur. Cette hauteur est nécessaire quand on photographie le vol des oiseaux, car ceux-ci, en s'élevant, ne tarderaient pas à sortir du champ obscur. Quand on étudie la marche de l'homme et des animaux, on rétrécit l'ouverture de l'écran en suspendant à sa partie supérieure des châssis couverts de toile noire ; ceux-ci restreignent l'arrivée de la lumière sous le hangar et en rendent la cavité plus obscure. Une longue bande de velours de $2^{m}50$ de hauteur occupe tout le fond de cette cavité ; on supprime ainsi presque entièrement la lumière émise par le fond de l'écran. La lumière réfléchie par le sol n'agit pas sur la plaque parce que la piste sur laquelle chemine le sujet à photographier est inclinée légèrement, de telle sorte qu'un rayon visuel émané de l'objectif rase la surface du sol sans le rencontrer nulle part. Cette condition est nécessaire pour que, dans les images, les pieds des marcheurs soient entièrement visibles, tandis que le sol ne l'est pas. Une aiguille brillante qui se meut sur un cadran noir indique si les images se sont produites à des intervalles de temps égaux ; l'aiguille lumineuse est représentée sur les photographies autant de fois qu'il y a eu d'éclairements. L'espace parcouru par le modèle se mesure à l'aide d'une règle graduée placée sur le sol.

Pour éviter la confusion des images résultant de leur superposition lorsque le sujet marche lentement, on emploie la photographie partielle, c'est-à-dire que l'on supprime certaines parties de l'image pour que le reste soit plus facile à comprendre ; il suffit pour cela d'habiller de noir les parties du corps que l'on veut retrancher de l'image. Si un homme revêtu d'un costume mi-partie blanc et noir marche sur la piste en tournant du côté de l'appareil photographique la partie blanche de son vêtement, la droite, par exemple, on le verra dans les images comme s'il était réduit à la partie droite de son corps. On peut aussi revêtir le marcheur d'un costume entièrement noir, sauf d'étroites bandes de métal brillant, qui, appliquées le long de la jambe, de la cuisse et du bras, signalent assez exactement la direction des rayons osseux de ces membres. Cette disposition permet de décupler aisément le nombre des images recueillies en un temps donné sur une même plaque ; ainsi, au lieu de dix photographies par seconde, on peut en prendre cent. On ne change pas la vitesse de rotation du disque, mais au lieu de le percer d'une seule fenêtre on en fait dix également réparties sur toute la circonférence. Il est nécessaire de donner à l'une des fenêtres un diamètre double de celui des autres pour faciliter l'estimation des temps et avoir des points de repère précis. Les images obtenues dans ces conditions sont tellement rapprochées qu'on assiste en quelque sorte à tous les déplacements successifs des membres et du tronc.

Les études de M. Marey sur le vol des oiseaux lui ont montré que, sauf certaines différences de détails, tous les oiseaux exécutent des mouvements de même nature. Chez tous, l'aile se replie au moment de sa remontée ;

arrivée en haut de sa course, elle se déploie brusquement, puis s'abaisse en se portant en avant et en se rapprochant du corps; à la fin de cet abaissement, les articulations des ailes se replient de nouveau et la montée recommence. Pour bien comprendre le mécanisme du vol, il faut employer plusieurs appareils photographiques donnant des images de l'oiseau vu d'en haut, de côté, ou bien dans la direction de l'appareil photographique. Ces images, prises sous différentes incidences, se complètent l'une l'autre; elles se prêtent à l'analyse dynamique du vol.

La méthode chronophotographique a été appliquée par M. Marey à l'étude d'autres phénomènes. C'est ainsi qu'il a pu déterminer par l'expérience la forme que doit présenter l'extrémité libre d'une tige vibrante dans laquelle on produit des ventres et des nœuds. On supposait qu'entre le dernier nœud et son extrémité libre la verge présentait une forme courbe; l'expérience a montré qu'il n'en est pas ainsi et que les derniers éléments d'une verge vibrante sont parfaitement rectilignes. De même, il a pu étudier les lois de la chute des corps : il suffit de photographier un point brillant en établissant devant l'écran un réseau de fils blancs ayant entre eux un intervalle donné. Les images successives de la boule brillante montrent sur la plaque sensible les lois des espaces, des vitesses et des accélérations. On peut aussi, par ce moyen, chercher les lois de la résistance de l'air aux mobiles de différentes formes qui s'y meuvent.

Lorsque les images photographiques d'un même sujet doivent être tout à fait séparées les unes des autres et propres par exemple à l'usage du zootrope, M. Marey dispose la chambre noire devant le sujet qui va exécuter les mouvements, mais sans déplacement, et il en fait tomber l'image sur la glace sensible après qu'elle a été réfléchie sur un miroir tournant. En réglant la vitesse de rotation du miroir on écarte à volonté plus ou moins les images successives. M. Marey a reproduit ainsi les mouvements d'une anguille qui nage. La plaque sensible n'a pas besoin d'être fixe pour ces observations[1]. Pour étudier le mouvement du vol des insectes, il attache ceux-ci sur une longue aiguille qui se meut sur un fond entièrement noir. L'insecte vivement éclairé se détache ainsi fort bien. L'aiguille reçoit un mouvement uniforme mais lent, ce qui permet aux ailes qui sont entièrement libres de se mouvoir. La plaque sensible peut ainsi reproduire les différents mouvements des ailes.

M. Marey[2] a obtenu sur une bande de pellicule sensible une série d'images photographiques correspondant aux attitudes successives d'un animal en mouvement. Pour cela, M. Marey a d'abord employé le dispositif suivant : derrière l'appareil chronophotographique à éclairements intermittents il place un autre appareil qui conduit une bande de pellicule sensible au foyer de l'objectif; un électro-aimant arrête la pellicule pendant le temps très court où se produisent les images. L'inconvénient de cet appareil réside en ce qu'il faut faire chaque fois que l'on veut opérer un réglage pour établir la concordance des deux appareils associés. Dans une disposition nouvelle[3], tous les mouvements sont réglés de façon que la pellicule sensible

1. *Comptes rendus*, 8 octobre 1888.
2. *Ibid.*, 15 et 22 octobre 1889.
3. *Ibid.*, 3 novembre 1890.

progresse, dans l'intervalle de deux images, d'une longueur précisément égale à celle de l'image elle-même ; de plus, la pellicule doit s'arrêter au moment de la formation de l'image pour que celle-ci soit parfaitement nette. Pour éviter les effets de l'inertie, M. Marey n'arrête que la pellicule, dont la masse est à peu près négligeable, et pendant cet arrêt le rouage moteur continue son mouvement à toute vitesse. Enfin, pour concilier l'arrêt momentané de la pellicule devant l'objectif avec la traction continue que cette pellicule éprouve à son extrémité par l'action du rouage moteur, M. Marey fait réfléchir la pellicule sur un ressort flexible qui cède à sa traction, diminue le trajet que doit parcourir la bande et réagit ensuite aussitôt que la bande, cessant d'être comprimée, se remet en mouvement. Les choses se passent comme si la bande devenait extensible d'une manière intermittente, ce qui lui permet de cheminer par saccades sous l'action combinée d'un entraînement continu et d'arrêts momentanés.

Pour manier librement les bandes pelliculaires, les introduire dans l'appareil et les en retirer en pleine lumière. M. Marey se sert d'un dispositif auquel il a donné le nom de *bobine à couverture* et qui présente une certaine analogie avec les cartouches de Silvy (**123**).

Aux extrémités de chaque pellicule sensible on colle deux bandes de papier opaque, l'une rouge et l'autre noire, puis on enroule le tout sur une bobine de métal, en commençant par l'extrémité rouge. Cet enroulement est fait dans le laboratoire photographique, et lorsqu'il est terminé on peut porter la bobine en pleine lumière sans crainte d'altérer la pellicule. Celle-ci, en effet, est protégée par les épaisseurs multiples de papier noir qui la recouvrent.

Quand on veut prendre une série d'images, on introduit la bobine dans l'appareil en engageant l'extrémité de la bande sur une autre bobine sur laquelle elle s'enroulera, puis on ferme l'appareil et on met le rouage en marche. Dès que celui-ci a pris sa vitesse et que l'on constate que l'animal en expérience exécute bien les mouvements que l'on veut étudier, on presse sur un bouton ; aussitôt la bande, saisie par un laminoir, se met en marche et s'enroule sur la seconde bobine. A la fin de l'expérience, la pellicule se trouve recouverte par une série d'enroulements de papier rouge. On peut alors manier la bobine en pleine lumière, et sa couleur ne permet pas de la confondre avec celles qui n'ont pas servi et qui sont recouvertes de papier noir.

962. Procédés de M. A. Londe. — M. A. Londe[1] a imaginé, en 1883, un appareil chronophotographique destiné spécialement aux applications médicales. Il n'a pas cherché, comme M. Marey, à obtenir le plus grand nombre d'épreuves dans le temps le plus court possible ; il a admis que pour la représentation des mouvements qu'il avait à étudier douze épreuves étaient suffisantes. Comme d'autre part ces mouvements peuvent être plus ou moins rapides, il faut que le cycle de fonctionnement des douze appareils soit réglé par cette vitesse. Ce qui caractérise les recherches de M. Londe, c'est la variabilité des intervalles de temps entre chaque pose successive. Dans le nouvel appareil construit par M. Londe, on peut obtenir les douze

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1883, p. 129.

épreuves en moins de $^1/_{20}$ de seconde; on peut aussi mettre entre chacune d'elles des intervalles de $^1/_{10}$, $^1/_4$, $^1/_2$, 1 seconde et même davantage.

Les opérations s'effectuent sur des plaques mesurant $0^m24 \times 0^m30$; on obtient douze images ayant environ $0^m08 \times 0^m075$. Ces images, obtenues avec des objectifs rectilinéaires à court foyer, se prêtent fort bien à la projection et possèdent une grande profondeur de foyer.

Cet appareil étant portatif permet de faire des études en n'importe quel endroit. Il se prête fort bien aux applications médicales et a été construit dans ce but. Mais comme depuis 1883 M. Londe n'a cessé de le perfectionner, et que les résultats pratiques obtenus depuis longtemps par ce très habile expérimentateur l'avaient mis à même de préciser les conditions multiples que doit réaliser un instrument de cette nature, on peut considérer sa nouvelle chambre noire comme l'une des plus pratiques, non seulement pour les études médicales, mais pour toutes les opérations de chronophotographie. Dans cet appareil, le déclenchement des obturateurs s'effectue à l'aide de l'électricité. Les obturateurs permettent d'obtenir des temps de pose variables, et le déclenchement de chaque obturateur se produit à des intervalles de temps que l'on peut déterminer à l'avance, tout en étant maître de modifier ces intervalles pendant le cycle des opérations.

L'appareil que M. Londe a appelé *photo-électrique* se compose de douze objectifs de même foyer, disposés en couronne sur une chambre noire; ces objectifs donnent autant d'images d'un même objet. Un disque d'aluminium noirci, percé d'une ouverture en secteur et entraîné par un mouvement d'horlogerie, se trouve derrière les objectifs. L'ouverture, à l'état de repos, est entre deux objectifs; par conséquent, aucune lumière n'entre dans l'appareil. Un électro-aimant commande un déclenchement spécial combiné de telle manière que, tant que dure le courant, l'ouverture démasque un des objectifs; lorsqu'il est interrompu, la pose cesse, et ainsi de suite pour les autres objectifs. On peut donc régler à volonté et le temps de pose de chaque objectif et l'intervalle entre chaque pose.

Pour obtenir des épreuves à des intervalles réglés d'avance, on se sert d'un régulateur de Foucault, qui vient actionner le contact électrique au moment voulu, ou encore d'un métronome électrique.

963. Procédé de M. le général Sébert. — L'appareil photographique employé par M. le général Sébert au laboratoire central de l'artillerie de marine a pour but d'obtenir d'un objet immobile ou en mouvement *six* photographies successives, prises à des intervalles équidistants, réglés chronométriquement et avec des temps de pose variables à volonté. Il permet d'opérer sans être obligé de placer l'objet à photographier en face d'un fond obscur, comme dans la méthode de M. Marey. M. le général Sébert fait usage, comme dans les appareils employés par M. Londe, de chambres noires indépendantes, successivement mises en action à intervalles réguliers. L'appareil est mis en mouvement par un moteur à rouages qui peut fonctionner à grande vitesse sans imprimer aux chambres des trépidations nuisibles. Il est établi de façon à obtenir des vues instantanées. Il permet aussi de commander au besoin par l'appareil la production du phénomène qu'il s'agit d'enregistrer, et de faire varier à volonté le temps qui s'écoule entre la fermeture du circuit et la prise du premier négatif. Il peut par

suite facilement enregistrer les places successives d'un phénomène de courte durée pouvant être provoqué électriquement et se manifestant par des changements de forme rapides, comme la gerbe d'une explosion à recul d'un affût ou même le tir d'un projectile à marche relativement lente, par exemple le tir d'une torpille automobile. Le réglage de l'appareil peut être effectué à l'avance et à loisir; l'opérateur, débarrassé ensuite de toute préoccupation, n'a plus, au moment voulu, qu'à provoquer le déclenchement initial du système pour que tous les mouvements s'accomplissent avec la régularité et la sécurité nécessaires; c'est donc un appareil à peu près automatique.

L'appareil se compose essentiellement de six chambres noires indépendantes, fixées suivant les sommets d'un hexagone régulier, en arrière d'une platine verticale qui est percée de fenêtres en regard des objectifs ; en avant de cette platine est disposé un grand disque évidé en son centre et sur le pourtour duquel sont percées six fenêtres qui correspondent à celles de la platine. C'est sur ce disque que sont installés les obturateurs chargés d'ouvrir et de fermer les fenêtres. Au centre du disque tourne un plateau entraîné par un moteur à poids, avec une vitesse de rotation sensiblement uniforme, et qui porte les organes nécessaires pour provoquer la fermeture de circuit de mise de feu et le fonctionnement des obturateurs.

L'ensemble du disque porte-obturateur et du mécanisme est fixé sur un pied spécial, indépendant de celui qui supporte la platine et les chambres, de manière à ne communiquer à celles-ci aucune trépidation. Le disque est d'ailleurs renfermé dans une boîte mince, disposée à l'avant de la platine et dont la paroi antérieure est formée de deux panneaux à coulisse qu'on retire latéralement pour lui livrer passage et qu'on referme après sa mise en place; six autres fenêtres correspondant aux premières sont percées dans les panneaux.

Les chambres noires sont du format de $0^m09 \times 0^m12$; elles sont carrées et munies de châssis à rideau pouvant être placés indifféremment soit en hauteur, soit en largeur. Les objectifs employés sont des aplanétiques rapides d'Hermagis n° 7 (**78**). La mise au point s'effectue à l'aide d'un chariot commandé par une vis.

Les obturateurs sont du système à double guillotine circulaire. Ils sont commandés par des lanières en caoutchouc d'assez grande longueur; elles sont préférables aux ressorts à boudin en acier, car elles peuvent supporter, sans dépasser leur limite d'élasticité, un allongement supérieur à celui des ressorts en acier. Ces ressorts sont attelés à la tête des disques de l'obturateur.

L'obturateur est composé pour un objectif de deux paires de lamelles établies symétriquement sur les deux faces du disque qui se trouve en avant de la platine. Ces lamelles s'ouvrent symétriquement en partant du centre de l'objectif et se ferment de même en convergeant vers le centre; c'est là une condition très avantageuse en ce qu'elle permet d'obtenir un rendement relativement élevé.

Le temps de pose que l'on peut réaliser par cet appareil est d'environ $^1/_{200}$ de seconde. La première application qui en a été faite a permis l'étude du lancement à la poudre des torpilles automobiles [1].

1. *La Nature*, 1890.

964. Procédé de Anschütz. — Le procédé employé par Anschütz est destiné à fournir une série d'études aux peintres et aux artistes. Il emploie un procédé analogue à celui de Muybridge, mais il obtient des images modelées sur plaques de 0m08 de côté. Il emploie un obturateur à rideau qui fonctionne à une petite distance de la plaque sensible. Les différentes phases de chacun des mouvements à reproduire sont photographiées au moyen de vingt-quatre chambres, dont chacune prend successivement une portion du mouvement entier. C'est le modèle lui-même qui effectue le déclenchement des obturateurs. Certains dispositifs permettent de faire varier le temps de pose de quelques centièmes de seconde à une seconde.

Anschütz a pu ainsi reproduire des séries d'instantanées de chevaux au trot, au galop et franchissant des obstacles. Les chambres noires étaient placées assez bas et l'on obtenait douze images en 0s,72. On peut sur les photographies analyser tous les mouvements qui président au saut, depuis le moment où les sabots quittent la terre jusqu'au moment où le cheval retombe de l'autre côté de l'obstacle [1]. Une échelle graduée, photographiée en même temps, permet d'effectuer sur l'épreuve les mesures nécessaires.

D'autres études, telles que le lanceur de javelot, le lanceur de pierres et le lanceur de disque constituent des images du plus haut intérêt pour les artistes peintres ou statuaires.

Le procédé de Anschütz consiste donc à multiplier le nombre des appareils et par là le nombre des plaques sensibles employées. L'avantage de cette manière d'opérer sur la première méthode employée par M. Marey est que les images ne se recouvrent pas et restent parfaitement distinctes les unes des autres ; cet avantage existe d'ailleurs dans les appareils de Londe, du général Sébert et des derniers appareils employés par M. Marey.

BIBLIOGRAPHIE.

Eder (Dr J.-M.). *La Photographie instantanée.*

Londe (A.). *La Photographie moderne.*

Marey. *Développement de la méthode graphique par l'emploi de la photographie.*

1. *Illustrirt. Zeitung* nº 1, 1886.

CHAPITRE V

APPLICATIONS A LA PHYSIQUE, A LA MÉTÉOROLOGIE ET AUX SCIENCES NATURELLES.

965. Procédés à employer. — Plusieurs des phénomènes que l'on étudie en physique se manifestent sous forme du déplacement d'un ou plusieurs points matériels. La photographie, en permettant d'enregistrer la position successive de ces divers points, permet toujours de constater ce déplacement et quelquefois d'en déduire les lois. C'est ainsi que, lorsqu'il s'agit d'un corps pesant soumis à l'action de la pesanteur et tombant en chute libre, la photographie de l'objet en mouvement pourra donner les lois des espaces et des vitesses; les oscillations d'une tige mobile pourront être facilement enregistrées, de même que les vibrations d'un diapason, les variations de hauteur d'une colonne de liquide opaque, etc. Les applications de la photographie à la physique peuvent avoir pour objet l'étude de phénomènes mécaniques, calorifiques, électriques ou lumineux; les détails des appareils employés varient suivant la nature de ce qu'il faut enregistrer.

§ 1. — PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES.

966. Photographie des projectiles pendant le tir. — L'on a utilisé la photographie pour obtenir l'instant précis du recul d'une pièce d'artillerie[1]; on y est parvenu d'une manière très simple : la charge est enflammée par un fil de platine qu'un courant électrique porte à l'incandescence, le même courant met en action un électro-aimant, qui soulève un volet placé devant le diaphragme; le volet, soulevé tout le temps que passe le courant, retombe au moment où le fil de platine, en fondant, interrompt le circuit. On a obtenu ainsi sur plaque au collodion humide la photographie du projectile et de la pièce.

1. *Bulletin belge de la photographie*, 1866, p. 307.

M. le commandant Joly[1] emploie le dispositif suivant pour étudier, à l'aide de la photographie, le recul des bouches à feu. Il fixe au point de la pièce ou de l'affût à étudier une boule en cuivre argenté de 0m05 de diamètre, placée au centre d'un disque en tôle noircie : c'est l'image de la courbe décrite par le point lumineux de la boule argentée que l'on se propose d'obtenir ; le disque noirci sur laquelle elle se détache a pour but de bien isoler la courbe principale de celle que traceront les points voisins de la pièce ou de l'affût, et qui, bien que moins apparents, peuvent donner lieu à des confusions et à des erreurs. On dispose, parallèlement au plan de recul, un appareil photographique muni d'un objectif rectilinéaire ayant un angle suffisant pour embrasser tout le champ probable de recul. L'objectif est muni d'un obturateur à deux valves, analogue à l'obturateur Bocca, et se déclenchant au moyen d'un interrupteur électrique que fait fonctionner sans s'en rendre compte l'homme qui met le feu à la pièce. La première valve s'ouvre au moment précis où le coup part ; la seconde se ferme au bout d'un temps variable, à volonté, et qu'il est facile de connaître. On met au point sur la boule argentée, en ayant soin de faire masquer par des écrans noirs, disposés en arrière de la pièce, les parties du champ fortement éclairées sur lequel il est probable que la pièce viendra passer. L'opération s'accomplit d'elle-même par le seul fait de l'inflammation de la poudre ; l'image est obtenue sur glace au gélatino-bromure.

Pour relever photographiquement le point d'éclatement des projectiles, M. le commandant Joly dispose perpendiculairement à la ligne de tir un appareil photographique muni d'un objectif rapide, de manière que le plan de la glace dépolie soit rigoureusement parallèle au plan de tir et que l'image visible sur cette glace, une fois la mise au point exécutée, renferme le champ d'éclatement probable des projectiles, la ligne d'horizon et deux ou trois fanions de distance destinés à donner des points de repère et l'échelle du dessin. L'opérateur fait la mise au point une fois pour toute la séance de tir, puis il met en place une glace sensible préparée à la gélatine bromurée et ouvre le châssis au moment où il aperçoit la fumée du coup de canon ; il guette alors l'éclatement du projectile qui doit se produire en face de lui, et lorsqu'il aperçoit le petit nuage de fumée qui en résulte, fait fonctionner un obturateur à guillotine et déclenchement pneumatique dont l'appareil est pourvu. On obtient sur plaque au gélatino-bromure l'image des fanions de distance et celle du petit nuage d'éclatement dont l'extrémité la plus rapprochée de la pièce est précisément le point d'éclatement cherché. On peut à l'aide de ce procédé obtenir la trajectoire d'un projectile lancé par une pièce en faisant plusieurs observations identiques aux précédentes à des distances de 100 mètres, 200 mètres, etc., et joignant les points moyens des résultats obtenus.

MM. Mach et Salcher ont essayé de reproduire les balles de fusil en mouvement ; le projectile doit être éclairé vivement et instantanément. Dans ce cas, M. Mach s'est ingénieusement servi d'une batterie de bouteilles de Leyde avec deux points d'interruption, dont l'un consistait en fils enfermés dans des tubes de verre. Le projectile, dans sa marche, brisait les tubes et déterminait ainsi la décharge des deux points d'interruption.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1882, p. 16.

L'étincelle jaillissant au second point d'interruption éclairait le projectile dont on avait pris instantanément une image au moyen d'un appareil photographique placé tout auprès. Avec un fusil Werndl, dont la vitesse initiale est de 438 mètres par seconde, ainsi qu'avec un fusil qui imprime à la balle une vitesse initiale de 530 mètres, on a obtenu une image nette de la zone de compression de l'air. Cette couche apparaît sur la photographie sous la forme d'une hyperbole entourant le projectile dont le sommet est à la tête et l'axe dans la trajectoire. Des bandes de démarcation partent de même des bords postérieurs du projectile et se dirigent, en s'écartant, en arrière. L'air refoulé et condensé ne peut se détendre avec une vitesse supérieure à celle du son. La photographie a confirmé l'hypothèse d'une forme hyperbolique de l'air comprimé que M. Mach avait déjà établie théoriquement. Avec une balle animée d'une très grande vitesse, il se manifeste encore ce phénomène remarquable que, dans la partie privée d'air qui suit le projectile, il se produit de petits nuages qui forment une traînée en arrière. On peut y reconnaître clairement des mouvements giratoires. La photographie d'un projectile rend sensible un mouvement de l'air ayant de la ressemblance avec le mouvement de l'eau autour d'un bateau qui s'avance avec une grande vitesse.

Anschütz de Lissa a fait, en 1889, quelques expériences à Grivon, près Magdebourg, dans le but de photographier à la lumière du jour les projectiles animés d'une grande vitesse initiale[1]. M. Anschütz a construit à cet effet une petite chambre noire très rigide, portant à l'intérieur un obturateur mû par un poids de plusieurs centaines de kilogrammes. Cet obturateur, qui fonctionne immédiatement devant la plaque, est à rideau; il présente une fente extrêmement mince qui passe devant la plaque pendant un temps très court. Dans le champ de la chambre noire qui couvre un espace d'environ 14 mètres, il place un rideau blanc, et à des intervalles de quatre mètres il suspend un projectile de $0^{m}30$ de longueur, pour servir de comparaison avec le projectile de même nature qui est tiré par le canon; à une distance de 60 mètres, il place un réseau de fils métalliques, reliés électriquement avec l'obturateur. Le projectile traverse ce réseau avec une vitesse initiale de 418 mètres à la seconde; la fente de l'obturateur passe devant la plaque (très petite) en un temps qui n'excède pas 75 millionièmes de seconde.

M. Gleaves a indiqué la méthode suivante[2] qui présente la plus grande analogie avec celle de MM. Mach et Salcher. On fait passer le projectile devant un immense tube de Geissler éclairé, pendant le passage du projectile par l'étincelle d'une forte bobine d'induction. Comme dans les méthodes précédentes, c'est le projectile lui-même, en rompant le circuit, qui détermine la production de l'étincelle nécessaire à l'éclairage du sujet à photographier.

M. le général Sébert a appliqué son appareil chronophotographique à l'étude du lancement des torpilles automobiles. La torpille automobile, qui affecte la forme d'un poisson, contient en plus d'une charge de coton-pou-

1. *Phot. News*, n° 1635.
2. *Photographisches Wochenblatt*, 1890, n° 6.

dre un moteur à air comprimé qui fait marcher une hélice, et donne ainsi au système un mouvement de propulsion quand la torpille a pénétré dans l'eau. Le navire assaillant envoie ces torpilles dans la direction du navire ennemi au moyen d'un tube de lancement qui les projette à une vingtaine de mètres du bord, de façon à les faire sortir des remous produits par le sillage; elles entrent alors dans l'eau et continuent leur route par l'action de l'hélice qui a été mise en marche par le lancement même. Le prix de revient des torpilles de ce genre étant considérable, on conçoit combien il est essentiel que les conditions qui influent sur la régularité de leur marche sous-marine soient connues avec précision; or, on a constaté que cette marche ne devient rapidement régulière que si elles arrivent dans des conditions bien déterminées. Si la torpille plonge en inclinant plus ou moins en avant, sa marche est absolument compromise; si, au contraire, elle arrive en quelque sorte à plat et d'une seule pièce sur l'eau, au lieu d'y pénétrer par l'avant, les résultats seront tout différents. Il importe donc de déterminer ce qui se passe pendant le lancement. L'appareil chronophotographique de M. le général Sébert permet d'analyser le phénomène et, qui plus est, d'en garder la trace durable.

967. Photographie de la veine liquide. — Pour étudier de quelle manière se produit la discontinuité de la veine liquide[1], M. Izarn s'est servi de l'éclairage produit par un tube de Geissler. On sait que lorsqu'on observe la veine liquide à l'aide de ce mode d'éclairage, surtout si le trembleur de la bobine jouit d'une assez grande latitude dans sa vitesse d'oscillation, on aperçoit assez bien la structure par goutte, mais la stabilité fait absolument défaut. Pour éviter cet inconvénient, M. Izarn attache solidement la bobine au tuyau et au robinet d'écoulement; la vibration du trembleur se communique énergiquement à la veine qui devient parfaitement régulière et à peu près insensible aux légers bruits ambiants, de telle sorte que, en projetant le jet sur le fond brillant fourni par le tube lumineux, on peut observer le phénomène tout à loisir et le photographier de même. A une distance un peu grande de la portion limpide, les gouttes et surtout les gouttelettes ont des mouvements propres qui empêchent d'en obtenir une image nette; mais c'est précisément l'observation des régions supérieures qui présente le plus d'intérêt. Quant à l'aspect d'un tube central indiqué par Savart et qu'il attribue au passage rapide des gouttelettes devant l'œil, il semble évident, par la seule inspection de la photographie, qu'il est dû à la région brillante que produit la réfraction sur la colonne liquide, qu'elle soit discontinue ou non.

Cette application de la photographie à l'étude de ce phénomène particulier peut être généralisée; on pourra l'employer toutes les fois qu'il sera utile d'employer les tubes de Geissler pour l'observation d'un phénomène. On sait, en effet, que si l'on illumine un de ces tubes, et qu'à la faveur de cet éclairage intermittent on observe le trembleur de la bobine qui actionne le tube, ce trembleur paraît absolument immobile, l'illumination ne se produisant chaque fois qu'au moment précis où le trembleur abandonne la barre de contact de l'interrupteur.

1. *Comptes rendus*, 20 février 1888.

§ 2. — PHÉNOMÈNES CALORIFIQUES ; MÉTÉOROLOGIE.

968. Mesure des coefficients de dilatation. — M. Le Châtelier s'est servi de la photographie pour déterminer les coefficients de dilatation aux températures élevées ; il y est parvenu en appliquant le couple thermo-électrique platine, platine rhodié, à la détermination des températures, et la photographie à la mesure des longueurs. On peut, sur un négatif ordinaire, faire des pointés à $0^{m}00001$ près. On sait, d'autre part, que la dilatation de tous les métaux entre 0° et 1000° est supérieure à 0,001 de leur longueur, de telle sorte qu'avec une tige de $0^{m}10$ de longueur, photographiée en vraie grandeur, on pourrait mesurer la dilatation dans cet intervalle de température à 1 % près. Pour éviter toute cause d'erreur, M. Le Châtelier photographie chaque extrémité de la tige au moyen d'objectifs différents, séparés l'un de l'autre par une distance égale à la longueur de la tige et maintenus à cette distance d'une façon rigoureusement invariable. Cette méthode a été appliquée à la détermination du coefficient de dilatation de la porcelaine de Bayeux. Les expériences ont été faites sur la tige d'un petit pyromètre qui avait servi autrefois à MM. Mallard et Le Châtelier dans leurs mesures des températures d'inflammation des mélanges gazeux. Les écarts entre le calcul et l'observation sont de l'ordre de grandeur prévu, et le coefficient trouvé diffère à peine de celui obtenu en 1863 par MM. Sainte-Claire-Deville et Troost, dans une première série d'expériences faites à la température d'ébullition du zinc.

Une modification de cet appareil permet d'inscrire la température au dessus de 1000°.

969. Mesure des températures. — Ronalds a l'un des premiers appliqué la photographie à l'enregistrement des variations de niveau de la colonne de mercure d'un thermomètre. Dans les premiers appareils qui ont été construits, la colonne de mercure était placée dans l'obscurité, tandis que le réservoir était au dehors. On employait un thermomètre différentiel spécial, composé d'un tube de verre en forme d'U contenant du mercure. Une des branches communique par un tube flexible avec un réservoir métallique enfoncé dans le sol, qui le maintient à une température constante connue, et l'autre communique avec un second réservoir semblable au premier exposé au dehors, où il doit prendre la température de l'air. Les variations du niveau dans le tube en U font connaître les variations de température de l'air extérieur. M. Ronalds plaçait l'appareil dans une chambre obscure ; en avant de la colonne dont il s'agissait d'enregistrer le mouvement, il plaçait la flamme d'une lampe ou d'un bec de gaz ; il la disposait de telle sorte qu'elle se trouvait au foyer d'un miroir cylindrique vertical, à section parabolique, qui réfléchissait les rayons lumineux parallèlement les uns aux autres ; ces rayons étaient reçus par une lentille cylindrique verticale qui les concentrait en un foyer linéaire sur le tube renfermant le mercure ; entre ce tube et l'objectif se trouvait un écran percé d'une fente verticale, ne laissant passer qu'un mince faisceau de rayons

lumineux. L'objectif formait, sur une feuille de papier sensible, une image renversée de la partie de la fente dépassant le niveau de la colonne de mercure; les rayons correspondant à la partie de cette fente inférieure à ce niveau étaient arrêtés par le mercure. Le châssis contenant le papier sensible recevait, à l'aide d'une horloge, un mouvement lent et régulier, perpendiculaire à la direction des rayons lumineux. Au développement, le papier noircit dans toutes les parties où il a été impressionné par la lumière; il reste blanc partout où le mercure l'a préservé de l'action des rayons émis par la lampe. La courbe formée par le bord de la partie blanche indique les variations de position du niveau du mercure Une division tracée sur le côté vertical du châssis permet d'évaluer les différences de hauteur; une autre division tracée sur un des côtés horizontaux indique les heures correspondantes.

Regnault[1] a proposé d'employer un thermomètre formé d'un réservoir d'argent rempli d'air, placé au dehors, et communiquant avec un manomètre à mercure disposé comme celui d'un thermomètre à air et placé dans le cabinet obscur où les mouvements du niveau sont enregistrés par la photographie. La communication entre le réservoir et le manomètre est obtenue au moyen d'un tube capillaire d'argent présentant un diamètre intérieur d'environ un tiers de millimètre. Cet instrument n'a pas été employé d'une manière courante.

970. Enregistrement des oscillations de la colonne du baromètre. — Les principes sur lesquels est basée la construction du thermomètre enregistreur photographique peuvent s'appliquer au baromètre. On comprend que la colonne de mercure, interceptant une partie des rayons lumineux, produit une image dont les courbes indiquent des hauteurs différentes de la colonne et par suite des pressions atmosphériques différentes.

Les détails de construction de ces baromètres ont beaucoup varié. Au lieu d'employer un miroir courbe, difficile à exécuter, on peut se servir simplement d'une lame de cuivre argenté et poli, que l'on courbe à l'aide de vis de rappel qui s'applique par derrière en portion de cylindre au foyer duquel se place le bec de gaz; la surface sensible était primitivement formée d'une feuille de papier préparée à l'iodure de potassium et nitrate d'argent, et appliquée par son côté mouillé sur une glace couverte de lignes horizontales et verticales tracées au diamant à des intervalles rapprochés et égaux; de cette façon, les moyennes d'observation se lisent avec facilité et s'annotent avec la plus grande exactitude[2].

Le papier que l'on employait était préparé par immersion dans un bain d'iodure et de bromure de potassium; on le conservait dans cet état pour le passer dans une solution d'acéto-nitrate d'argent au moment de l'employer. Le papier ainsi sensibilisé était enfermé entre les deux feuilles de verre du châssis pour l'empêcher de se sécher; il noircissait directement à la lumière, mais le plus souvent l'image manquait d'intensité. On obtenait la vigueur suffisante en immergeant pendant quelques instants le papier dans une solution d'acide gallique, on fixait ensuite à l'aide d'hyposulfite de soude.

1. *Annales de chimie et de physique*, 4e série, XXIV, p. 236.
2. Van Monckhoven, *Traité général de photographie*, 5e édit., p. 372.

On emploie aujourd'hui comme surface sensible soit le papier recouvert d'une couche d'émulsion au gélatino-bromure d'argent, soit un papier préparé au bromure d'argent par immersion successive dans un bain de bromure d'ammonium, séchage, puis immersion dans un bain de nitrate d'argent ammoniacal suivi de lavages.

971. Photographies de nuages. — M. Janssen[1] a insisté sur les avantages qu'il y a à obtenir des photographies de nuages et de divers autres phénomènes météorologiques. La photographie enregistre des documents précieux et variés en permettant, dans des cas particuliers et par l'emploi des méthodes appropriées, des mesures de distance, de hauteur, de dimensions des nuages, des météores, etc.; elle donne des phénomènes des images d'ensemble sur lesquelles ces phénomènes peuvent être discutés, et qui donnent une valeur toute nouvelle aux éléments météorologiques observés. La photographie ouvre aux études une voie de mesures photométriques de la lumière des astres dans ses rapports avec l'atmosphère; enfin, elle permet de léguer à l'avenir un ensemble de documents utilisables, quel que soit le point de vue que les progrès de la science amènent à considérer.

M. Abercromby a démontré par les photographies qu'il a obtenues que la forme et l'aspect des nuages ne varient pas avec les latitudes ou les longitudes, et qu'ils sont identiques sur tous les points du globe. Le très grand nombre de négatifs de nuages obtenus par M. Abercromby lui ont permis de faire une étude descriptive et géographique complète, de plus, il a montré qu'on pouvait déduire de l'observation des nuages, à un moment donné, de précieuses indications au point de vue de la prévision du temps. Les photographies permettent de vérifier si ces prévisions se sont réalisées.

§ 3. — PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES.

972. Électromètres enregistreurs. — F. Ronalds a installé à Kew, en 1854, un appareil destiné à l'enregistrement des variations électriques de l'air[2]. Il se servait d'un électromètre à feuilles d'or; un objectif à portrait formait l'image de ces feuilles d'or sur une plaque sensible contenue dans un châssis qu'un mouvement d'horlogerie relevait lentement. Les feuilles de l'électromètre se rapprochant ou s'éloignant suivant l'intensité de l'électricité atmosphérique, interceptent la lumière venant de la lampe qui noircit le papier. Or, le châssis se mouvant très lentement et régulièrement, on obtient sur le fond impressionné du papier deux courbes blanches dont on peut, à l'aide d'une échelle divisée, connaître l'écartement et, par suite, celui des feuilles d'or à un instant quelconque et en noter les différentes phases. Une division tracée sur le côté du châssis permet de connaître le temps. Un appareil spécial permettait de reconnaître la nature de cette électricité. Les

1. *Comptes rendus*, 1887.
2. Van Monckhoven, *Traité général de photographie*, 6e édit., p. 373.

procédés de photographie employés par Ronalds n'étaient pas assez sensibles pour faire voir les traces des variations brusques des feuilles.

Salleron a construit pour l'observatoire de Montsouris un appareil enregistreur de l'électricité atmosphérique. Le potentiel de l'air est mesuré à la fois par deux électromètres de Branly, de sensibilité différente, le moins sensible servant à enregistrer les fortes charges avec un faible déplacement angulaire de son aiguille. Deux des quatre secteurs qui agissent sur cette aiguille sont chargés à un potentiel connu, et les deux autres communiquent avec le collecteur. Une source lumineuse (bec de gaz) émet deux pinceaux lumineux qui sont renvoyés par des prismes sur les miroirs suspendus sous chacune de ces aiguilles. Ces miroirs réfléchissent les pinceaux sur une lentille cylindrique à travers laquelle ils sont resserrés en deux foyers, qui dessinent des courbes sur le papier sensible recouvrant un cylindre que fait tourner un mouvement d'horlogerie.

M. Mascart[1] a appliqué la photographie à l'enregistrement des variations de l'aiguille de son électromètre. Une caisse d'horloge est divisée dans le sens de la hauteur en deux parties séparées par un châssis en bois : l'une renferme un mouvement d'horlogerie, l'autre forme chambre noire et contient un châssis qui descend de toute sa hauteur en vingt-quatre heures, entraînant dans son mouvement une feuille de papier sensibilisée au gélatinobromure d'argent. Une lanterne contient une petite lampe à essence minérale, qui renvoie à l'électromètre des rayons lumineux se réfléchissant sur l'aiguille de l'électromètre. La hauteur relative de l'horloge et de l'électromètre est réglée de façon que les rayons émanés de la lampe, après réflexion, viennent tomber exactement sur la fente derrière laquelle glisse le châssis photographique. Ces rayons forment sur le papier sensible deux images, dont l'une, due à la réflexion sur la face plane de la lentille, a une position fixe et trace une ligne droite, tandis que l'autre, due à la réflexion sur le miroir, suit tous les mouvements de l'aiguille et trace une courbe plus ou moins accidentée.

973. Photographie de l'étincelle électrique. — Des essais nombreux ont été faits dans le but de photographier l'étincelle électrique par les anciens procédés du collodion humide. Les premières épreuves satisfaisantes paraissent avoir été obtenues par M. Daft[2], photographe à Troy (États-Unis). Il a obtenu l'image de l'étincelle électrique jaillissant entre deux tiges métalliques mises en relation avec une forte machine de Holtz. Dans quelques-unes des épreuves obtenues, on voit que l'étincelle est divisée en dix stries distinctes, qui offrent l'apparence de fils extrêmement fins et d'une blancheur éclatante. Plus tard, en 1883, Stein[3] réalisa la même expérience ; pour cela, il disposa la chambre noire et l'objectif de façon que l'espace compris entre les conducteurs vînt former sur la plaque sensible une image de grandeur naturelle. Il évaluait à un cent quarante-quatre millième de seconde le temps pendant lequel la lumière émise agit sur la couche sensible. Trouvelot[4] a constaté que

1. *Comptes rendus*, 1883.
2. *La Nature*, 1875, II, p. 15.
3. *Aide-mémoire de photographie pour* 1883, p. 130.
4. *Comptes rendus*, 20 octobre 1888.

les images engendrées par la décharge de l'électricité positive sont dissemblables et ne ressemblent en aucune manière aux images engendrées par la décharge de l'électricité négative. Les premières, sinueuses et singulièrement ramifiées, ressemblent à certains lichens, à certaines algues, tandis que les secondes, à ligne souvent brisée, rappellent par leur forme les feuilles élégantes de certains palmiers. Les plaques photographiques elles-mêmes apportent une certaine modification, très légère, il est vrai, dans la forme de l'étincelle, selon qu'elles reçoivent telle ou telle émulsion. La forme des électrodes n'apporte pas de modification sensible. Les photographies de l'étincelle permettent d'étudier la marche du phénomène.

M. Ducretet[1] place dans l'obscurité une plaque photographique entre les deux conducteurs d'une bobine d'induction et fait jaillir l'étincelle à la surface de la pellicule sensible; il développe par les procédés habituels et obtient des images aussi belles que si elles eussent été produites au foyer d'un objectif. Il photographie de même l'effluve, et ses nombreuses épreuves permettent de comparer les différentes manifestations de la tension électrique. Quand on opère avec une chambre noire, la seule opération délicate réside dans la mise au point. On la prépare à l'avance sur un objet lumineux (tel qu'une hélice de platine rendue incandescente par un courant électrique). On place cet objet lumineux au centre de la ligne qui joint les deux conducteurs de la machine, puis on retire cet objet, on supprime les lumières, on débouche l'objectif et on met en marche l'appareil producteur des étincelles. Après chaque étincelle on change la plaque ou bien, comme l'a indiqué M. Moussette, on en fait jaillir un certain nombre avant de la renouveler. Si l'image est au point, les traits sont nets, filiformes; mais, dans un faisceau d'étincelles, quelques-unes apparaissent diffuses et d'aspect rubané, parce que dans leur marche elles se sont écartées en deçà ou en delà de la route qu'on comptait leur voir suivre.

974. Photographie d'éclairs. — R. Haensel[2] a pu photographier un éclair à l'instant où la foudre atteint la terre et reproduit l'action de l'étincelle électrique. Le paysage ayant été photographié en même temps, on a pu faire le calcul de la longueur de l'éclair, qui était environ 1,700 mètres. La photographie montre que l'étincelle électrique semble se subdiviser en une foule de petites veines, à peu près comme le chevelu d'une plante. M. Mascart[3] a constaté sur certaines épreuves que l'éclair est en quelque sorte pulvérisé, tant ses ramifications sont nombreuses; il a comparé le passage de l'étincelle dans l'air à celui de l'étincelle de la bobine de Rhumkorff dans un tube de verre, l'air étant aussi pour l'électricité un milieu résistant.

M. Trouvelot[4] a constaté par l'étude microscopique des négatifs que le trait fulgurant se subdivise un très grand nombre de fois; dans un cas, en trente-sept branches dont quelques-unes sont d'ailleurs extrêmement ténues et faibles. La forme du trait n'est évidemment pas cylindrique, mais aplatie

1. *La Nature*, 1888, II, p. 193.
2. *Phot. News*, 1883.
3. *Société française de physique*, 26 novembre 1884.
4. *Comptes rendus*, 9 juillet 1888.

comme un ruban, et M. Trouvelot a comparé ses inflexions à celles qu'un ruban matériel décrirait dans un milieu fluide lentement agité de courants et remous. Ce ruban est dans toute sa longueur traversé de fines raies noires ; on peut les comparer aux raies du spectre solaire. D'après MM. Mascart et Fizeau [1], les bandes et les raies dont les éclairs se montrent hachés pourraient bien n'avoir pas une existence réelle et tenir simplement à ce que l'objectif n'est pas rigoureusement au point, ce qu'il paraît assez difficile de réaliser dans certains cas particuliers.

Pour obtenir des photographies d'éclairs suivant les indications de la Société royale météorologique de Londres, il suffit de mettre au point l'objectif sur un objet très éloigné ; on opère pendant la journée, et pendant un orage de nuit, on laisse ouvert l'objectif de la chambre noire munie d'une plaque sensible.

Les photographies d'éclair ont permis à M. Trouvelot de constater que le temps pendant lequel se produisait l'éclair avait une durée appréciable ; il lui a suffi pour cela de photographier à l'aide d'un appareil animé d'un léger mouvement de va-et-vient pendant la pose : la netteté de l'image disparaît à peu près complètement, même quand la vitesse de translation imprimée à la chambre noire n'est pas très considérable : il suit de là qu'un éclair se produit pendant un temps parfaitement appréciable, contrairement à l'opinion généralement admise.

975. Enregistrement des phénomènes magnétiques. — La force magnétique terrestre éprouve dans sa direction et dans son intensité des variations irrégulières et brusques, en sorte que l'observation, même répétée, des appareils à lecture directe, est absolument insuffisante en temps de perturbations ; aussi a-t-on demandé depuis longtemps à la photographie l'enregistrement continu des phénomènes magnétiques.

Pour obtenir l'enregistrement de ces phénomènes on a d'abord fixé au couteau du *magnétomètre-balance* un miroir sphérique concave en avant duquel brûle une flamme entourée d'une cheminée opaque, qui laisse passer par une fente un faisceau de rayons lumineux ; ce faisceau forme par réflexion un foyer qui tombe sur une feuille de papier photographique appliquée sur un cylindre que fait tourner un mouvement d'horlogerie. On employait au début le papier iodure humide, et un manchon cylindrique de verre enveloppait le papier pour en conserver l'humidité. Si le miroir ne bouge pas, le foyer marque une circonférence sur le papier et une courbe sinueuse si le miroir change de position. Les inclinaisons du *déclinomètre* s'enregistrent de la même manière au moyen d'un petit miroir sphérique fixé à l'aimant au-dessous du point d'attache du fil de suspension ; mais le cylindre tournant est horizontal. Au lieu de faire réfléchir le faisceau lumineux divergent par un miroir sphérique, on peut avec avantage le recevoir sur une lentille qui le concentre en un foyer. Un petit miroir plan reçoit alors le faisceau convergent qui sort de la lentille et renvoie le foyer sur le cylindre recouvert de papier photographique.

L'emploi de ces appareils coûteux nécessite une cave de grande dimen-

1. *Comptes rendus*, 23 juillet 1888.

sion. M. Mascart[1], sans sacrifier en rien la précision, qui est la condition rigoureuse d'observations aussi délicates, a imaginé un magnétomètre enregistreur qui permet de réaliser une réduction considérable du prix de l'appareil et des dimensions du local nécessaire à son installation. Il emploie une source de lumière unique pour les trois boussoles et effectue l'enregistrement de tous les éléments sur la même feuille, ce qui facilite la comparaison des divers résultats. Les trois instruments qui enregistrent ces phénomènes sont : le *déclinomètre*, pour la déclinaison; le *bifilaire*, pour la composante horizontale, et la *balance*, pour la composante verticale. Chaque appareil est muni d'un miroir fixe et d'un miroir mobile qui suit les déviations du barreau aimanté. Dans le déclinomètre et le bifilaire, l'ouverture antérieure de la cage métallique est fermée par une lentille convergente de 1m10 environ de longueur focale; dans la balance, cette lentille est remplacée par une courbure convenable de l'une des faces du prisme qui sert à redresser les images.

La source lumineuse est constituée par une petite lampe à gazogène qui brûle avec une intensité constante pendant trente-six heures. La mèche de cette lampe est placée au centre d'une lanterne adossée à l'horloge qui contient le système enregistreur, et munie sur chacune de ses trois faces libres d'une monture métallique portant une lentille de champ et une fente verticale dont on peut modifier la largeur à volonté. Ces montures peuvent être déplacées verticalement ou horizontalement pour la facilité du réglage : l'une des fentes envoie un rayon lumineux au déclinomètre, la deuxième au bifilaire, la troisième à la balance. L'ensemble du système est disposé pour que les images lumineuses des fentes, après s'être réfléchies sur les miroirs de chacun des instruments, soient renvoyées sur la surface sensible. Le papier sensible est recouvert d'une couche de gélatino-bromure d'argent; il est renfermé dans une caisse qui constitue l'enregistreur. Cette caisse est divisée dans toute sa hauteur en deux parties, séparées par une cloison en bois; au fond se trouve un mouvement d'horlogerie à pendule et à poids; la partie antérieure forme chambre noire et contient le châssis photographique. Ce châssis glisse dans un cadre à rainures qui peut, par l'intermédiaire d'une crémaillère et d'une roue à rochet commandée par l'horloge, descendre de toute sa hauteur pendant un intervalle de vingt-quatre heures.

Les rayons réfléchis qui proviennent d'un des instruments latéraux tombent sur un prisme à angle droit qui les renvoie sur une fenêtre étroite ménagée devant le châssis photographique et qui peut être fermée à volonté par un obturateur commandé par une vis extérieure. Par un réglage convenable de la fente, on fait en sorte que les deux images réfléchies par le miroir fixe et par le miroir mobile se forment nettement sur le papier sensible. On obtient ainsi sur le papier deux lignes, dont l'une, qui est droite, sert de repère et permet de constater les variations de la courbe du barreau aimanté, les deux autres instruments donnent chacun une courbe et une ligne de repère.

L'heure est enregistrée sur la feuille de papier. Le mouvement d'horlogerie est combiné pour que le cadre descende exactement d'un centimètre

1. *La Nature*, I, p. 276.

par heure, en sorte que la longueur totale des courbes est de $0^m,24$. Le papier est pressé dans le châssis entre deux lames de verre, dont l'une, sur laquelle appuie le côté sensibilisé, est transparente et porte vingt-cinq traits horizontaux distants d'un centimètre l'un de l'autre. Ces traits se présentent tour à tour devant la fenêtre, interceptent la lumière pendant quelques instants et produisent sur les lignes des interruptions qui servent de repère. On peut aussi marquer l'heure par une perturbation périodique des barreaux aimantés. Pour cela, on adapte à l'horloge un contact électrique qui ferme un circuit toutes les heures pendant quelques instants, au moment où l'aiguille des minutes passe sur midi; ce circuit renferme une petite pile et le courant passe dans trois bobines sans fer placées auprès de chaque instrument. Il en résulte des oscillations horaires de chaque barreau et un trouble passager dans la courbe correspondante.

Le développement du papier ne présente rien de particulier. Lorsque l'image est révélée, il faut traduire les courbes en valeur numérique; la graduation des appareils s'effectue très simplement. Pour le déclinomètre, on tourne la cage de l'instrument et, par suite, le miroir fixe d'un angle connu, indiqué par le cercle gradué inférieur; la ligne de repère se déplace et la distance des images des deux miroirs avant et après la rotation donne la valeur angulaire du millimètre sur le papier. De même, en tournant le treuil seulement d'un angle de 90° par exemple, on observe par le déplacement de l'image mobile l'influence, d'ailleurs très faible, due à la torsion du fil de suspension. On déduit de ces expériences la valeur angulaire que représente un écart d'un millimètre sur la feuille. La graduation des deux autres appareils a pour but de rechercher à quelle fraction de la composante horizontale et de la composante verticale correspond l'ordonnée de la courbe. Pour cela, on place successivement auprès du déclinomètre et du bifilaire de la balance, dans une position spéciale et à une distance uniforme, pendant cinq ou dix minutes, un aimant auxiliaire supporté par une règle de comparaison. L'action de cet aimant modifie la position de chacun des trois barreaux et produit un déplacement brusque de l'image mobile. Ces écarts, qui laissent leur trace sur le papier, permettent de déterminer par le calcul à quelle fraction des composantes correspond un millimètre sur l'épreuve. La sensibilité des appareils est réglée pour que les variations des divers éléments soient toujours comprises dans les limites du papier. C'est par des expériences analogues que l'on mesure et que l'on vérifie de temps en temps la valeur d'une division des échelles des appareils à lecture directe. Les ordonnées des trois courbes donnent donc les variations des trois éléments, sauf les corrections de température dues aux deux derniers. On peut, du reste, contrôler tous les jours les résultats de l'enregistreur par ceux que donnent les appareils de variation à lecture directe.

§ 4. — ENREGISTREMENT DES PHÉNOMÈNES OPTIQUES.

976. Photographie du spectre ultra-violet. — Pour la photographie des spectres ultra-violets, on n'emploie pas les spectroscopes ordinaires dont les lentilles et les prismes, en flint ou en

crown-glass, absorbent les rayons invisibles, partiellement à partir de λ 380 et complètement à partir de λ 360. On remplace le verre ordinaire par du quartz et du spath fluor, qui sont transparents jusqu'à la limite pratiquement observable dans l'air λ 185, ou par du spath d'Islande, qui est transparent jusqu'à λ 220. La disposition générale des pièces est la même qu'avec les spectroscopes lumineux, mais la chambre noire photographique remplace l'oculaire de la lunette ; cette chambre doit être à bascule verticale.

Les lentilles de quartz présentent l'inconvénient de nécessiter des mises au point très différentes pour les diverses radiations ; il faut donc ou faire plusieurs épreuves avec des tirages différents, ou bien incliner beaucoup la couche sensible par rapport à l'axe de la chambre noire, sans que d'ailleurs la plaque inclinée coïncide exactement avec la surface des foyers ; cet inconvénient est d'ailleurs très atténué lorsque la dispersion est assez grande. On emploie les lentilles de quartz parce que c'est une surface que l'on se procure facilement et que l'on travaille avec assez de perfection.

M. Cornu a réalisé des lentilles achromatiques pour les rayons ultra-violets, d'abord avec le quartz et le spath d'Islande, ensuite avec le quartz et le spath fluor. M. Deslandres, dans ses recherches sur les spectres de bandes ultra-violets des métalloïdes, a employé plusieurs spectroscopes photographiques et réseaux. Il s'est servi d'un spectroscope avec deux lentilles achromatiques de 0^m45 de distance focale et un prisme de spath d'Islande, qui donne en quatre épreuves et avec une grande netteté le spectre photographique de λ 460 à λ 230. Un autre appareil était constitué par deux lentilles en crown-flint de 0^m40 de distance focale et un prisme de flint lourd très pur qui donne en deux épreuves le spectre de λ 460 à λ 360. Enfin, lorsqu'une très grande dispersion était nécessaire, il a employé un autre spectroscope avec deux prismes de spath d'Islande, combinés avec des lentilles achromatiques en quartz et spath fluor. Ces lentilles, très commodes avec une faible dispersion, peuvent être avantageusement remplacées par des lentilles de quartz ; on gagne notablement au point de vue de la netteté et de la rapidité. L'inclinaison de la plaque photographique avec la dispersion offerte par deux prismes est relativement faible et peu gênante [1]. Enfin, dans certains cas, M. Deslandres a utilisé un réseau de Rowland présentant cinq cent soixante traits environ au

1. *Annales de chimie et de physique*, 6e série, XIV, p. 35.

millimètre et une surface de 0^m08 sur 0^m055 ; ce réseau offre une dispersion égale sinon supérieure à celle des meilleurs spectroscopes à prismes et donne des images d'une grande perfection. Il réfléchit aussi bien les rayons ultra-violets que les rayons visibles. Avec des plaques très sensibles et des poses très longues, M. Deslandres a obtenu de belles épreuves de spectres de bandes sur plaques au gélatino-bromure. Ces plaques, très sensibles, permettent d'enregistrer des raies extrêmement faibles que l'œil n'aurait jamais pu saisir.

L'emploi des émulsions pour préparer les surfaces sensibles présente, indépendamment de la rapidité, de nombreux avantages sur les plaques préparées au collodion humide. Les plaques préparées à l'aide d'une même émulsion sont toujours semblables entre elles si la préparation est faite avec soin : avec le collodion humide, au contraire, la nature des plaques peut varier considérablement d'un jour à l'autre et même plus rapidement, comme le savent tous ceux qui ont pratiqué quelque peu le procédé du collodion. Ce n'est qu'au prix des plus grands soins que l'on est arrivé à produire à l'aide de ce procédé de bonnes photographies des spectres, photographies qui témoignent de l'habileté des observateurs qui les ont obtenues.

M. Deslandres[1] a étudié par la photographie les spectres de bandes des métalloïdes. Il s'est d'abord servi d'un appareil peu dispersif donnant le spectre dans son ensemble, puis avec des appareils de dispersion de plus en plus grande qui assurent la résolution complète en raies fines.

M. Deslandres a vérifié la loi suivante[2] : Les spectres de bandes offrent la répétition de bandes semblables ou de séries de raies semblables et peuvent à ce point de vue être rapprochés des spectres de lignes des métaux qui présentent la même disposition ; de plus, il existe une relation simple entre les spectres de la vapeur d'eau et de l'oxygène, c'est-à-dire entre les spectres d'un corps composé et de l'un des composants.

Wollaston, en 1802[3], annonça que l'altération du chlorure d'argent s'étendait au delà du violet, sur une longueur à peu près égale à celle du spectre visible. En 1842, Herschel[4] constata que ces rayons, plus réfrangibles que le violet, ne sont pas totalement invisibles : il les appela rayons *lavande* et constata qu'ils agissaient sur le chlorure d'argent, fait qui avait été observé en 1840 par Ed. Becquerel. Plus tard, Draper[5] photographia le spectre ultra-violet, mais c'est Miller[6] qui produisit la première série complète de photo-

1. *Annales de chimie et de physique*, 6e série, XIV, p. 5.
2. *Ibid.*, p. 78.
3. *Philosophical Transactions*, XCII, 1802.
4. *Bibliothèque universelle de Genève.*
5. *Philosophical transactions*, 1859.
6. *Ibid.*, 1862.

graphies spectrales. Avec un spectroscope à un seul prisme et une étincelle d'induction renforcée par un condensateur, Miller a obtenu les spectres d'émission de presque tous les corps et les spectres d'absorption d'un grand nombre de substances solides, liquides ou gazeuses; il a reconnu en même temps la transparence, pour les rayons ultra-violets, du spath fluor et du spath d'Islande, c'est-à-dire de deux substances utilisables pour les appareils d'optique. Les spectres publiés par Miller manquent de netteté et il faut arriver aux travaux de M. Mascart[1] pour trouver les premières photographies permettant des mesures précises. M. Mascart s'est servi d'un goniomètre de Babinet, de lentilles de quartz de 0^m25 de distance focale et d'un prisme de spath, taillé parallèlement à l'axe, dont le rayon ordinaire offre une dispersion double de celle du quartz. Pour la photographie, l'oculaire est remplacé par une petite chambre photographique pouvant recevoir une plaque préparée au collodion humide : la surface sensible est très voisine du réticule sans toutefois le toucher; le réticule fait réserve sur la plaque et l'on obtient sur le négatif une croix blanche qui repère la plaque par rapport au cercle gradué du goniomètre. M. Mascart a ainsi obtenu un relevé exact de sept cents raies du spectre solaire ultra-violet. Pour la mesure des longueurs d'onde, il s'est servi d'un réseau fonctionnant par transmission et, par des épreuves faites à droite et à gauche, il a obtenu les longueurs d'ondes des raies principales lumineuses et ultra-violettes. L'erreur possible est inférieure à $^1/_{10000}$ de la longueur d'onde, malgré les imperfections du réseau qui donnait trois images d'une même radiation dans le même spectre. Puis M. Mascart[2] étudia avec le même appareil le spectre ultra-violet du cadmium et photographia jusqu'à la raie λ 221; il montra que la région ultra-violette à l'échelle des longueurs d'onde a la même étendue que la région lumineuse, chacune représentant un octave.

M. Cornu[3] a construit une carte du spectre solaire ultra-violet en longueur d'onde; cette carte qui prolonge la carte d'Angström, a été faite par la photographie. Les principaux appareils employés ont été un grand goniomètre de Brunner, donnant les trois secondes, un prisme de flint, un prisme de spath d'Islande, et plusieurs réseaux utilisés par transmission et réflexion avec des lentilles achromatiques de 0^m45 de distance focale environ. La méthode employée pour repérer la plaque photographique diffère de celle utilisée par M. Mascart : elle consiste à obtenir sur la plaque, sans changement du tirage, d'abord le spectre à relever, puis deux images différentes du rayon réfléchi, pour deux positions différentes de la lunette déterminées par le goniomètre. Cette méthode, dite des repères, suppose l'emploi de lentilles achromatiques; elle a permis à M. Cornu de relever huit cents raies de O à la dernière raie U (λ 295). Le nombre des raies pour une même largeur du spectre est plus grand que dans la carte d'Angström. Ces résultats ont montré nettement les avantages de la photographie pour l'étude des rayons violets. En même temps, M. Cornu[4] constata que la limite ultra-violette du spectre solaire est variable avec la hauteur du soleil, c'est-à-dire

1. *Recherches sur le spectre solaire ultra-violet*, 1864.
2. *Annales de l'École normale supérieure*, 1867.
3. *Ibid*, 1874 et 1880.
4. *Comptes rendus*, 1879 et 1880.

avec l'épaisseur de l'air traversé. En se servant d'objectifs achromatiques en quartz et spath fluor et d'un réseau de Rutherfurd, M. Cornu parvint à photographier au collodion humide et à mesurer en longueur d'ondes les raies très réfrangibles du spectre de l'aluminium jusqu'à λ 186 : cette raie est absorbée complètement par quelques mètres d'air ; elle devient de plus en plus intense lorsque l'épaisseur d'air traversé diminue progressivement ; l'air absorbe donc les radiations très réfrangibles. Pour photographier ces raies, il faut avoir soin de laver la couche sensible avec de l'eau pure, pour enlever les dernières traces de nitrate d'argent qui absorbent les radiations très réfrangibles. Une méthode analogue permit à M. Cornu[1] de publier les longueurs d'onde des principales raies du magnésium, du cadmium, du zinc.

Lockyer employa l'un des premiers les plaques au gélatino-bromure pour l'étude des radiations les plus réfrangibles, et a publié une carte très complète du spectre solaire dans la région voisine de H. Rand-Capron[2] a publié des photographies du spectre des métaux et de quelques métalloïdes. Huggins[3] a photographié la partie ultra-violette du spectre en se servant d'appareils en quartz et de plaques au gélatino-bromure. Il émit l'opinion que les raies ultra-violettes dont il avait constaté la présence dans le spectre des étoiles était due à l'hydrogène. La première raie ultra-violette fut, en effet, retrouvée par Lockyer dans un tube à hydrogène, les deux suivantes par Vogel ; enfin, M. Cornu, plus tard, en éliminant du tube spectral toutes les impuretés, est parvenu à obtenir la série stellaire tout entière et à vérifier complètement le résultat annoncé par Huggins[4].

Liveing et Dewar ont étudié le spectre ultra-violet de la vapeur d'eau et du cyanogène, le renversement des raies, les spectres lumineux des métaux alcalins dans l'arc électrique, le spectre lumineux et ultra-violet du magnésium[5]. Ils ont employé une méthode spéciale pour repérer la plaque. Après une première épreuve, la plaque est retournée de 180° dans son plan autour de l'axe optique, et une deuxième épreuve du même spectre, placée tout contre la première, est obtenue sur la plaque retournée. Le tirage variable de la lunette était d'autre part mesuré exactement. L'appareil dont ils se servaient était formé d'un réseau de Rutherfurd et de lentilles de quartz. Hartley et Adeney[6] ont complété le travail de Liveing et Dewar en employant soit un prisme de quartz de 60°, soit un réseau de Rutherfurd, et en utilisant pour repérer la plaque par rapport au réseau une méthode analogue à celle de M. Cornu.

Dans ces derniers temps, M. Cornu s'est servi d'un spectroscope à faible dispersion formé de deux prismes de quartz, lévogyre et dextrogyre, de 30°, accolés, et de lentilles achromatiques en quartz et spath fluor. Les indices de ces deux corps s'unissent si heureusement que l'on peut, en une seule épreuve, avoir, avec une netteté suffisante, tout le spectre ultra-violet de λ 450 à λ 200.

1. *Archives des sciences physiques et naturelles de Genève*, 1879.
2. *Photographied spectra*, 1877.
3. *Philosophical transactions*, 1881.
4. *Ibid*, 1883.
5. *Procedings of the royal Society*, tt. XXVIII à XXXVI, et *Philosophicals Transactions*, 1883.
6. *Philosophicals transactions*, 1884.

Rowland[1], de Baltimore, s'est servi pour photographier le spectre solaire d'un réseau concave de 7 mètres de rayon focal, qui pour la région voisine de H avec le troisième spectre, donne un écartement de raies cinquante fois plus grand que l'appareil de M. Cornu. De plus, par une propriété spéciale à ces réseaux concaves, les diverses parties du spectre sont obtenues avec le même tirage de la plaque photographique par rapport au réseau; et comme la plaque est normale au réseau, le spectre est photographié exactement en longueurs d'onde et à la même échelle pour toutes les positions. Le spectre solaire publié par Rowland comprend de λ 579 à λ 320. L'inconvénient de ces grands réseaux réside en ce qu'ils réclament une installation spéciale et qu'ils exigent une lumière intense.

977. Photographies diverses. — M. Rutherfurd[2] s'est servi pour photographier le spectre solaire d'un spectroscope formé avec des prismes au sulfure de carbone. Dans les premiers essais faits avec les préparations au collodion, il a montré que la présence d'un bromure n'était pas nécessaire pour reproduire les parties les moins réfrangibles du faisceau actinique; il a obtenu les meilleurs résultats avec un collodion à l'iodure de sodium seul[3].

H. Draper[4] a montré à l'aide de la photographie que l'oxygène existe dans le soleil et est révélé par les raies brillantes du spectre solaire. Ce résultat a été obtenu en comparant les photographies du spectre solaire et celles du spectre de l'oxygène. La comparaison s'effectue en faisant traverser ce gaz par un millier d'étincelles électriques par minute; les étincelles ont 0^m25 de long; on obtient ainsi un spectre que l'on photographie et que l'on compare à celui obtenu par le spectre solaire. La quadruple ligne de l'oxygène, entre λ 434 et λ 435 coïncide exactement avec le groupe brillant du spectre solaire; de la coïncidence de ces lignes, on conclut forcément la présence de l'oxygène dans le soleil.

M. Norman Lockyer a appliqué le spectroscope à l'analyse quantitative des alliages. Les raies spectrales varient d'après la quantité de corps simples entrant dans un alliage. Lorsqu'on a étudié ces variations dans des alliages de composition connue à l'avance, on a des termes de comparaison à l'aide desquels on peut déterminer immédiatement la composition d'un échantillon dont les épreuves chimiques ordinaires donneraient lieu à une série de manipulations compliquées; mais pour obtenir des résultats exacts, il est indispensable de fixer ces raies par la photographie. M. Lockyer emploie dans ce but une lampe électrique dans le crayon inférieur de laquelle on a creusé un orifice où l'on dispose l'alliage à essayer placé dans un petit creuset en charbon; quand l'arc voltaïque jaillit, les métaux sont volatilisés; le spectre et les raies sont projetés sur une plaque sensible enfermée dans une chambre noire, et l'image photographique se forme sur une portion de la plaque. On peut obtenir plusieurs images spectrales l'une au-dessous de l'autre, de telle sorte que la coïncidence des lignes correspondantes aux comparaisons a lieu d'une façon rigoureuse.

1. *Journal American of science*, mars 1887.
2. *Pog. Ann.*, nov. 1865.
3. *The Amer. Journ. of phot.*, 1er septembre 1866.
4. *Journal of the Franklin Institute*, 1877.

Le Dr H. Vogel[1] a photographié le spectre solaire avec les différentes préparations en usage. Il a reconnu qu'une même modification de bromure d'argent accuse une différence considérable de la sensibilité aux couleurs, suivant le milieu qui sert d'enveloppe à ce sel. L'influence du milieu présente une grande importance sous le rapport de la solarisation.

M. le capitaine Abney a employé une émulsion spéciale pour photographier la partie infra-rouge du spectre; il s'est servi d'un réseau de Rutherfurd pour produire le spectre.

MM. Liveing et Dewar ont reproduit à l'aide de la plaque photographique le spectre produit par la flamme due à l'explosion d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène. Dans ce cas, le spectre donne les lignes caractéristiques de la substance dont est construit le vase dans lequel l'explosion se produit; on peut, par ce moyen, reproduire assez facilement le spectre du fer.

M. le capitaine Abney a constaté que la raie A du spectre solaire peut, dans les meilleures reproductions photographiques, être résolue en dix-sept lignes distinctes.

M. Hasselberg a fait une étude approfondie du spectre de l'iode. Les résultats ont été enregistrés par la photographie.

978. Applications diverses. — Presque tous les phénomènes optiques peuvent être enregistrés par l'emploi de la photographie. Bertsch avait proposé de photographier en lumière polarisée les substances dont la coloration spéciale était un obstacle à la reproduction par l'emploi du collodion humide. Aujourd'hui on se sert, dans ces conditions, de plaques orthochromatiques. L'on peut aussi photographier à l'aide de la lumière monochromatique, qui permet d'obtenir, quelquefois avec des temps de pose très longs, une représentation exacte des phénomènes.

MM. Mascart et Bouasse[2] ont obtenu la photographie des franges de polarisation chromatique, dites à l'infini, vues dans un microscope polarisant. On obtient de bons résultats par l'emploi d'une lumière très homogène, obtenue par une fente étroite installée sur un spectre pur : par exemple, une fente de $0^{mm}001$ sur un spectre de $0^{mm}10$; on peut employer le vert, le bleu ou le violet. On constate que le nombre et la netteté des franges diminuent très vite avec l'élargissement de la fente. Avec une fente un peu large, les négatifs reproduisent fidèlement les conditions de symétrie imposées par le genre de dispersion du cristal.

L'emploi de la lumière du thallium, dans l'étincelle d'induction, n'a pas donné de résultats pratiques à MM. Mascart et Bouasse; les franges sont tantôt nettes, tantôt invisibles. L'étincelle n'étant pas séparée du reste de l'appareil par une fente, l'éclairement se trouvait produit par un point variable dont le déplacement entraîne un mouvement de son foyer conjugué que les microscopes polarisants produisent dans le voisinage de la lame cristalline. Lorsqu'on éclaire le microscope avec une source très réduite, il existe un système de franges à peu près nettes à toute distance, au moins entre certaines limites, mais leur position dépend de celle de la source ou

1. *Phot. Mittheilungen*, 1881.
2. *Comptes rendus*, 1883, II, p. 93.

de la forme du faisceau des rayons utilisés. Parmi ces systèmes, un seul jouit de la propriété d'être indépendant de la position de la source, ou de la forme du faisceau; c'est celui qui produit les franges dites à l'infini : il se produit dans le plan focal principal des lentilles projetantes. On pourra donc se servir d'une source lumineuse mobile ou de grande surface à la condition de disposer le négatif rigoureusement au foyer principal du système projetant. La construction des microscopes ne permet pas la détermination exacte du foyer principal et les franges conservent à l'œil à peu près la même netteté en deçà et au delà dans des limites étendues; mais en exagérant le mouvement du point lumineux éclairant, le plan principal cherché sera celui où les franges auront le minimum de déplacement. En plaçant, par exemple, un carton percé d'un trou, monté sur une lame flexible devant une flamme colorée par la soude, on déterminera le plan, ou plutôt la surface du minimum de déplacement pour les franges. Si l'on supprime alors le carton, les franges apparaissent nettes, sans diaphragme, les trépidations habituelles ont disparu, et l'on obtient des négatifs d'une grande beauté; il en est de même avec l'étincelle colorée par le thallium. C'est là ce qui explique les raisons pour lesquelles l'emploi d'une fente immobile, installée sur un spectre pur, a donné immédiatement de bons résultats. Il faut que les sources lumineuses soient fixes, étroitement diaphragmées, et les faisceaux de rayons émis invariables de forme, si l'on veut des résultats nets, sans une mise en place rigoureuse de la plaque sensible au plan focal principal du système projetant.

MM. Mascart et Bouasse ont obtenu par cette méthode une image des courbes isochromatiques continues qui se produisent par l'emploi d'un polariseur et d'un analyseur circulaire; ils ont de même réussi à photographier avec une grande finesse le système compliqué de franges quadrillées que donnent deux sphènes croisés.

MM. Baille et Féry [1] ont photographié le phénomène des anneaux colorés; ils se sont servis de la lumière du thallium, et dans d'autres expériences de celle du sodium. Le chlorure de thallium solide, porté dans la flamme d'un bec de Bunsen, donne une lumière qui est environ trente fois plus active que celle du chlorure de sodium dans les mêmes conditions.

Hartley a proposé d'utiliser la photographie pour l'analyse qualitative : certaines lignes des spectres métalliques se reproduisent avec une grande facilité. Pour ce qui regarde le magnésium, par exemple, la sensibilité de la couche photographique ne semble pas avoir de limite. Avec une étincelle de longueur donnée, on peut déceler dans une solution une partie de magnésium pour 10,000,000,000 d'eau. Dans quelques cas particuliers, les épreuves photographiques pourront servir à la détermination de la nature du métal contenu dans une dissolution.

Pouillet [2] avait proposé d'enregistrer les variations d'intensité solaire en se servant d'une boîte carrée de 0^m20 de côté, 0^m10 de haut, orientée à la manière d'un cadran solaire et munie au centre des trois faces qui regardent le midi, l'est et l'ouest, d'une ouverture formée par un diaphragme de 0^m004

1. *La Nature*, 1889, II, p. 333.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1856, p. 201.

de diamètre. Les rayons solaires impressionnent le papier photographique placé dans le fond de la boîte sur une pièce mobile. Maurer[1], de Zurich, emploie dans ce but un tambour cylindrique de laiton, coupé obliquement par un couvercle fixe percé en son milieu d'une petite ouverture rectangulaire; le fond du cylindre est mobile et maintenu en place par une fermeture à baïonnette. Lorsque le cylindre est orienté de telle manière que son axe soit parallèle à l'axe terrestre, les rayons du soleil passant par la petite ouverture du couvercle décrivent, dans une journée, un cône droit sensiblement circulaire autour de l'axe du cylindre. La trace des rayons sur la paroi interne de celui-ci sera donnée par l'intersection de ces deux surfaces; donc, si le cylindre contient une feuille de papier photographique, le passage des rayons solaires sera marqué par un cercle qui, dans le développement de la feuille, deviendra une droite. Ce procédé est plus sensible que celui de Campbell, qui consiste à faire brûler une bande de papier par l'image solaire formée à l'aide d'une boule de verre faisant office de lentille.

§ 5. — APPLICATIONS AUX SCIENCES NATURELLES.

979. Zoologie. — Les applications de la photographie à la zoologie sont extrêmement nombreuses; elles comprennent les applications à l'anthropologie et à la zoologie proprement dite.

L'anthropologie descriptive comprend les portraits, l'étude des costumes, des armes, des outils, des habitations, etc. Les portraits seront faits de face et de profil; on exécutera autant que possible des portraits en pied et à une échelle déterminée. En voyage, on adopte une mise au point fixe pour cette réduction, par exemple $\frac{1}{15}$, et l'on avance ou l'on approche l'appareil du modèle jusqu'à ce que l'image soit nette sur la glace dépolie.

Les costumes, les armes, les outils, les parures sont quelquefois utiles à reproduire. Comme il s'agit d'applications scientifiques, on sacrifiera l'effet artistique au renseignement scientifique. En général, ces reproductions doivent être faites en opérant à l'abri d'une lumière trop vive; il faut autant que possible éviter de se servir de l'éclairage par les rayons solaires.

Les photographies du squelette ou des parties de squelette ne présentent pas de difficulté. On dispose les ossements de manière à ce qu'ils se profilent sur un fond noir et on élimine par un éclairage approprié les ombres portées.

Les photographies des animaux se font à l'aide d'appareils instantanés tenus à la main; l'appareil doit être muni d'un viseur permettant de déclencher l'obturateur au moment le plus favorable.

Les reptiles, batraciens, poissons, peuvent être photographiés vivants. M. Cohen a obtenu l'image des poissons en mouvement dans l'eau d'un aquarium. Il a recouvert d'une toile noire pour éviter les réflexions de lumière la glace postérieure d'un aquarium, et afin que la flamme de l'éclair magnésique ne pût être renvoyée sur la plaque sensible, il a allumé cette lumière dans une caisse, placée sur trois pieds élevés à côté des appareils,

1. *La Nature*, II, p. 51.

tandis que la direction des rayons tombant sur la paroi de verre était réglée de telle sorte qu'elle ne pouvait revenir sur les objectifs. Il pénètre toujours un peu de lumière dans les bassins des aquariums; on ne peut, d'ailleurs, complètement boucher les ouvertures du haut, car les poissons gagnent le fond de l'eau dès qu'ils se trouvent dans l'obscurité. Il est donc indispensable d'ouvrir les objectifs juste au moment de la combustion de la poudre, afin d'empêcher une action antérieure de la lumière du jour. La fermeture de l'objectif doit aussi coïncider avec l'extinction de la flamme. On peut parvenir à ce résultat en employant un obturateur à pose, qui permet une ouverture et une fermeture très rapide des objectifs. De l'examen de ces photographies il résulte que pendant la nage l'extrémité caudale des poissons prend la forme d'une hélice.

Les préparations d'invertébrés sont photographiées dans le bac à dissection. On place la chambre noire de telle sorte que l'axe de l'objectif soit vertical et on opère à travers la couche d'eau. Pour effectuer facilement cette opération, M. Donnadieu a fait construire un appareil auquel il a donné le nom de physiographe, et qui permet d'obtenir d'un objet des images soit agrandies, de grandeur égale ou plus petites. L'appareil consiste essentiellement en une très longue chambre noire supportée par un système de colonnes permettant d'élever ou d'abaisser la chambre à l'aide d'un système à cremaillère. Le même appareil sert à reproduire les objets en les amplifiant par l'intermédiaire du microscope.

La photographie permet d'obtenir de très bonnes images des coquilles. Afin d'éviter les ombres portées sur le fond, on opère de la manière suivante : on dispose verticalement une glace transparente maintenue dans un cadre, on place cet appareil sur une table, et à une certaine distance en arrière on dispose un écran pouvant s'incliner à volonté : cet écran est formé par une feuille de carton, de teinte blanche ou grise, plus ou moins foncée; sur la glace transparente on fixe les coquilles au moyen de cire à modeler. Dans le cas où l'on aurait à photographier en même temps des espèces d'épaisseur différentes, on s'arrangerait de façon à les ramener toutes sur le même plan, en augmentant plus ou moins la hauteur des cônes de cire à modeler sur lesquels elles sont fixées. Le cadre et sa glace chargée de coquilles, ainsi que le réflecteur, doivent être placés l'un et l'autre en lumière convenable [1].

Les insectes, les arachnides, les crustacés, etc., peuvent être facilement photographiés; il en est de même des échinodermes, polypiers, etc.

980. Botanique. — Les photographies de plantes vivantes ne présentent d'autre difficulté que celle qui provient de la nécessité de n'opérer que sur des sujets isolés. Les arbres, les arbrisseaux, les plantes herbacées ne se rencontrent que très rarement isolés. Il faut le plus souvent produire cet isolement lorsqu'il s'agit d'espèces herbacées. On arrache les plantes voisines et on produit un fond artificiel au moyen d'une pièce d'étoffe, de carton ou de papier de couleur convenablement choisi. Les plantes sèches sont infiniment plus faciles à photographier; on peut aussi les reproduire après les avoir comprimées entre une glace et un coussin de papier Joseph assez souple : on obtient ainsi de belles images des algues marines, de diverses

1. Trutat, *La photographie appliquée à l'histoire naturelle*, p. 87.

plantes. Les feuilles fraîches, empreintes végétales fossiles, coupes de bois, les fruits, les fleurs, etc., donnent de bonnes épreuves. On est quelquefois obligé, à cause de la couleur de certaines fleurs, de les photographier en plein soleil ; on les place alors dans de l'eau contenant une petite quantité de chaux.

981. Géologie. — La géologie trouve un secours précieux dans la photographie. Sur le terrain, le géologue peut faire des relevés étendus au moyen desquels il peut facilement reconnaître les horizons géologiques d'une contrée ; d'autres fois, il peut représenter sur une seule plaque, et cela en quelques secondes, des coupes naturelles qui exigeraient des heures de travail. Tous les accidents de terrains, plissements, brisures, rejets, etc., peuvent être reproduits ; on peut mesurer sur l'épreuve photographique l'angle que forment avec l'horizontale les couches de terrains inclinés.

Lorsque l'on veut obtenir des panoramas complets d'une région, l'emploi du cylindrographe Moessard permettra d'obtenir rapidement de bons résultats. A défaut de cet appareil, on se servira des objectifs grands angulaires, instruments qui sont précieux quand il s'agit d'obtenir une étude d'ensemble d'une chaîne de montagnes par exemple, ou qu'on ne peut pas s'éloigner suffisamment du sujet à photographier ; on utilise les plaques isochromatiques pour ce travail.

M. Civiale[1] a obtenu par l'emploi de la photographie une magnifique carte générale des Alpes, et pour cet objet la photographie a joué un rôle considérable : elle a servi, en effet, à relever avec exactitude la hauteur de la majeure partie des sommets. Les négatifs ont été faits sur papier préparé à la paraffine. Toutes ces photographies constituent des documents du plus haut intérêt au point de vue géologique.

Les effets mécaniques et physiques modifient continuellement la surface du sol. M. Wolff[2], par le simple déplacement d'une image, est parvenu à enregistrer les moindres oscillations de la terre. Il opère à environ 30 mètres au-dessous du sol : dans ces conditions, les vibrations ordinaires n'ont plus d'effet sensible. Il se place dans un tunnel de 35 mètres de long ; à l'une des extrémités de ce tunnel se trouve un bain de mercure réfléchissant à sa surface un certain objet ou un point : par un système de miroirs fixes, ce même point est réfléchi à l'autre extrémité du tunnel. Si les réflexions produites par les deux surfaces, l'une mobile, l'autre fixe, coïncident, la terre est immobile ; mais si les images réfléchies ne coïncident pas, il y a oscillation. En appliquant la photographie à l'enregistrement de ces images réfléchies on peut conserver d'une manière précise la preuve des plus petits mouvements de l'écorce terrestre.

L'étude des détails tels que l'action des vents, de la foudre, des eaux (érosions, plates-formes, terrasses, etc.) peut être faite très exactement à l'aide de la photographie. Les phénomènes des marées sont enregistrés par des procédés semblables à ceux qui ont permis d'inscrire les variations de hauteur de la colonne barométrique : on peut même, à l'aide de la photo-

1. *La Nature*, 1882, I, p. 112.
2. *Phot. News*, 1883.

graphie, étudier les mouvements du roulis. M. Huet [1] dispose sur le pont du navire un appareil braqué vers la ligne d'horizon; un mouvement d'horlogerie fait avancer la plaque sensible, et un obturateur permet d'obtenir des épreuves séparées les unes des autres par des temps égaux : la situation de la ligne d'horizon sur ces diverses épreuves donne lieu à une courbe qui, corrigée de l'action du tangage, permet d'obtenir les angles du roulis avec beaucoup de précision.

La photographie a été appliquée à l'étude des courants sous-marins [2] et à celle de la pureté de l'eau. M. le Dr Forel a fait ces expériences dans le lac de Genève au moyen de papier sensible photographique. Il fait plonger ce papier à une certaine profondeur pendant un temps donné, puis il note la teinte qu'a pris le papier ; il obtient ainsi, pour chaque jour de l'année, une série de teintes photographiques qui représentent très exactement les divers degrés de transparence de l'eau [3]. Après une expérience de plusieurs années, il est arrivé aux conclusions suivantes : en hiver, la limite de l'obscurité absolue pour le chlorure d'argent est 110 mètres, elle est de 45 mètres en été. Les variations de la limite d'obscurité sont parallèles à celles de la limite de sensibilité obtenue en cherchant la profondeur à laquelle disparaît un disque blanc plongé dans l'eau. Ce liquide est plus limpide en hiver qu'en été; cette différence est essentiellement due à la plus grande abondance en été des poussières organiques en suspension. La décroissance de l'effet photographique près de la limite d'obscurité absolue est plus rapide dans les eaux de l'été que dans celles de l'hiver.

L'action des glaciers, les intérieurs de grottes, les phénomènes volcaniques peuvent être aisément photographiés. Pour les photographies de grottes, on se servira avec avantage de la lumière produite par plusieurs fils de magnésium en combustion; l'emploi du fil de magnésium est préférable pour cet objet à celui de l'éclair magnésique.

L'étude de la composition du sol pourra être faite à l'aide de coupes soit naturelles, soit produites artificiellement; dans ces opérations, la chambre noire sera placée de telle sorte que l'axe de l'objectif soit bien horizontal. Les fossiles engagés dans la roche pourront quelquefois se photographier sur place afin de bien déterminer leur position.

§ 6. — APPLICATIONS DIVERSES.

982. Applications à l'art de l'ingénieur. — On peut, à l'aide de la photographie, constater jour par jour l'état d'avancement des travaux les plus considérables. Tous les ateliers de construction utilisent la photographie pour reproduire et faire connaître les types de machines qu'ils construisent; elle peut servir aussi à établir les renseignements nécessaires à certains travaux, montages de machines, mise en place de piles de pont, etc. Dans chaque cas particulier, le mode opératoire peut varier, et il est à peu près

1. *Comptes rendus*, 8 février 1875.
2. *La Nature*, 1874, II, p. 276.
3. *Aide-mémoire de photographie pour* 1879, p. 121.

impossible de tracer des règles précises permettant de répondre aux divers cas qui peuvent se présenter. Pour ces sortes de travaux, on utilisera exclusivement des objectifs rectilinéaires.

983. Photographie des gestes. — Boltzmann a imaginé un ingénieux système pour photographier les vibrations et les sons quelconques. Le principe de l'appareil est assez simple : on fixe au centre d'une membrane métallique circulaire, semblable à celle des téléphones, une mince lame de platine perpendiculairement à cette membrane; on dispose à proximité une seconde lame fine, de manière à laisser une légère fente entre les deux; la fente est établie au foyer d'une lentille convergente sur laquelle arrivent les rayons du soleil. Après avoir traversé la fente dont la largeur varie avec les vibrations de la plaque, le faisceau de lumière arrive sur une pile à sélénium mise en circuit avec deux téléphones et une douzaine d'éléments Leclanché en tension. Ce dispositif est, à peu de chose près, identique à celui qui est employé par Graham Bell pour le photophone. Si à l'aide d'un microscope solaire on concentre une lumière intense sur la plaque de platine, on pourra renvoyer cette lumière sur une plaque sensible animée d'un mouvement rapide dans une direction perpendiculaire à la ligne lumineuse tracée par la fente entre les deux plaques. On obtient ainsi des courbes très simples pour les voyelles; mais pour les consonnes, les lettres *l*, *m*, *n*, *p*, *r* donnent des figures qui ressemblent à celles obtenues par Kœnig avec ses flammes.

Edison a développé son idée de se servir de la photographie comme complément du phonographe, de façon à nous faire voir le personnage qui parle. Il place devant l'orateur deux appareils : un phonographe et une chambre noire automatique à mouvement continu; chaque photographie est prise dans un intervalle d'un dixième de seconde. Les deux appareils fonctionnent en silence et enregistrent les discours et l'apparence personnelle de l'orateur à chacune de ces fractions de seconde. Le phonographe peut alors reproduire les discours et un appareil spécial projeter en succession très rapide les photographies; ce système d'appareils peut donc montrer l'orateur parlant et gesticulant comme s'il vivait.

Nadar, en 1885, a utilisé la photographie instantanée pour reproduire l'attitude et les gestes de personnages dont un sténographe écrivait les discours.

M. Friere Green a proposé de photographier les vibrations de la voix de la manière suivante[1] : sur un disque de parchemin parfaitement tendu, on colle un petit miroir de verre argenté; un mince pinceau lumineux, après réflexion sur ce miroir, va former un très petit disque sur une glace sensible placée à 1 mètre environ du miroir. La glace peut se mouvoir graduellement. Si l'on parle derrière le tambour porte-miroir, les vibrations produites par le son de la voix sur le diaphragme de parchemin seront visibles sur la glace après le développement; on a constaté que les divers sons de voix donnaient des vibrations différentes[2].

1. *Phot. News*, n° 1640.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1889, p. 59.

M. le Dr Cohn, de Breslau, a pu obtenir à l'aide de l'éclair magnésique une photographie de l'œil : il a constaté ainsi la très grande dilatation de la pupille dans l'obscurité [1].

M. A. Batut [2] a utilisé la méthode de Gallon pour le portrait type d'une race ou d'une famille en opérant de la manière suivante : supposons que le temps de pose nécessaire pour obtenir une image soit de soixante secondes et que l'on ait réuni six personnes de la même famille, on fait poser chacune de ces six personnes sur la même plaque, à la même échelle, pendant le sixième du temps qui est nécessaire; s'il existe un trait commun aux six personnes, les six reproductions de ce trait se superposeront, et pour ce trait le temps de pose sera normal. Cette méthode est la même que celle de MM. Herbert Spencer et Francis Gallon. Ayant choisi un certain nombre de personnes qui se ressemblaient, ils font le portrait de chacune d'elles de même grandeur, dans les mêmes conditions de pose, de tenue et d'aspect; les épreuves positives sont tirées sur un papier très transparent. Les portraits sont ensuite empilés comme un paquet de cartes de visite, et de manière que la superposition des visages soit rigoureuse. Le paquet étant placé entre l'œil et une lumière vive, on distingue un portrait fusionné ou une moyenne de ces portraits. On peut encore imprimer tous les portraits sur une même plaque de verre; les diverses images se superposent sans s'altérer mutuellement. On peut alors obtenir une épreuve définitive sur papier qui sera le portrait moyen du groupe; il faut pour cela que les portraits soient exécutés à la même échelle.

984. Photographie judiciaire. — L'application de la photographie a été faite au service d'identification à la Préfecture de police de Paris. L'uniformité indispensable à la réduction des épreuves est obtenue en maintenant la chaise de pose et l'appareil rigoureusement à la même distance pour un même objectif. Pour éviter tout changement de distance, la chaise est reliée au sol par une broche de fer longue de $0^{m}50$ environ, fixée perpendiculairement d'un côté au milieu du fond de la chaise, tandis que l'autre extrémité traverse un manchon de cuivre dissimulé dans le plancher. Les détenus sont photographiés de face et de profil, ce qui permet de reconnaître plus facilement le récidiviste. En Angleterre, on photographie le sujet de face, mais en faisant fixer tout à côté de l'épaule du détenu une glace, laquelle réflète le profil. Ce dispositif ingénieux a le désavantage de mettre à même le public et les témoins de reconnaître à première vue l'origine judiciaire de ces photographies, ce qui, dans certaines enquêtes de police, peut présenter de graves inconvénients; de plus, on donne au détenu un maintien, toujours le même, qui est la pose des deux mains sur la poitrine : ceci présente des inconvénients sérieux au point de vue policier et n'ajoute rien à la valeur signalétique de l'épreuve. Les poses de profil sont les meilleures pour l'identification faite dans le cabinet de travail, mais les portraits de face sont mieux reconnus par le sujet lui-même et par le public. En pratique, on a

1. *Photographisches Mittheilungen*, n° 395.

2. *La Photographie appliquée à la production du type d'une famille, d'une tribu ou d'une race;* Gauthier-Villars.

constaté que lorsqu'on montre à des témoins les photographies des divers repris de justice que l'on est appelé à soupçonner, la reconnaissance se fait toujours par l'intermédiaire de la pose de face.

L'impression de ces photographies s'effectue sur papier au gélatino-bromure d'argent, procédé qui permet d'obtenir très rapidement un grand nombre d'exemplaires, ce qui est presque toujours indispensable pour les recherches de justice[1].

985. Photographie des manuscrits. — La photographie des manuscrits est souvent importante, par exemple lorsqu'il s'agit de comparer, comme l'a fait M. Hettiner, des manuscrits qui se trouvent répandus dans les bibliothèques de diverses villes très éloignées[2]. Ces manuscrits ne présentent généralement pas de difficultés spéciales de reproduction, excepté si les parchemins sont fortement jaunis par le temps; dans ce cas, l'emploi des plaques orthochromatiques permet d'obtenir facilement de très bonnes reproductions. L'objectif rectilinéaire doit être muni d'un verre coloré.

Le manuscrit à reproduire est fixé sur un chevalet analogue à celui dont se servent les peintres; il est important que l'objet à photographier soit rigoureusement parallèle au plan de la glace dépolie. Pour obtenir une planité parfaite du manuscrit à reproduire, on place la pièce à photographier dans un châssis-presse et on la comprime parfaitement; on la photographie en cet état. S'il s'agit de reproduire une page d'un volume relié, on emploie une glace libre d'une longueur supérieure à celle du volume; la planchette du chevalet et la glace sont retenues fortement l'une et l'autre par une corde disposée de façon à ne pas cacher les caractères. Le plus souvent, la page vient s'appliquer exactement contre la glace et s'étend sans faire de plis; dans le cas contraire, il faut faire disparaître ces plis en posant sous la page un morceau de molleton qui régularise la pression. Il suffit alors de mettre en place tout cet ensemble et de le relier au chevalet par des ficelles, qui non seulement attachent le livre, mais qui encore doivent maintenir les feuilles restées libres pour qu'elles ne viennent pas se replier sur la glace. On peut aussi se servir d'un châssis construit par Geymet. Ce châssis n'a que deux côtés en bois, et la glace, fortement enchâssée entre deux rainures que portent ces côtés, les relie l'un à l'autre, de façon à laisser libre les deux grands côtés de la glace; sur cette glace se place une planchette brisée; des barres à ressort, fixées sur les deux montants, maintiennent en place cette planchette, dont les deux grands bords libres sont terminés en biseaux allongés. Pour employer cet appareil, on ouvre les barres de serrage et l'on enlève la planchette. Le volume est ouvert au point voulu et la page à reproduire est posée sur la glace, que l'on fait pénétrer le plus avant possible vers le centre du volume; derrière cette page, on place la planchette, puis les barres de serrage, de façon à prendre entre les glaces et la planchette la page à maintenir, puis le châssis est fixé au chevalet et la partie libre du volume maintenue par un système d'attaches quelconque.

La photographie peut servir à reconnaître la fausse monnaie, les falsifica-

1. *La Nature*, 1889, I, p. 387.
2. *Aide-mémoire de photographie pour* 1889, p. 116.

tions des effets de commerce, des billets de banque, etc. On sait que dès l'apparition de la photographie les faussaires se servirent de ce moyen pour contrefaire les billets de banque. On imprima alors ces derniers en bleu et l'on ajouta successivement un filigrane et un fond coloré sur le billet; dans ces conditions, même avec les plaques orthochromatiques, la reproduction est sinon impossible, du moins fort difficile.

La falsification des monnaies est des plus faciles à reconnaître par la photographie. Il suffit de reproduire en même temps, en se servant du même éclairage, une pièce de monnaie vraie et la pièce de fabrication douteuse; les deux pièces doivent porter le même millésime. On les photographie à grande échelle, en les agrandissant directement trois à quatre fois en diamètre. Dans ces conditions, on perçoit très nettement les défauts de frappe : les lettres les plus épaisses présentent des bavures, les parties qui devraient être fines sont empâtées, la pièce fausse manque de relief, de modelé.

Le même procédé permet de discerner une signature vraie d'avec une signature fausse. Par l'agrandissement, il est très facile de découvrir des différences dans la formation de certaines lettres, différences imperceptibles par l'examen direct de l'écriture.

Les falsifications d'écritures privées ou publiques peuvent être reconnues par la photographie. Les diverses encres ont, en effet, des pouvoirs photogéniques différents; par exemple, sur un négatif, il est facile de distinguer une encre absolument noire d'une autre qui est également foncée à l'œil, mais qui contient du violet. C'est ainsi que Ferrand, de Lyon, a reconnu certains chiffres qui avaient été recouverts d'une couche d'encre comme par accident. Toute lecture était impossible, mais l'encre employée à la falsification était à base d'aniline, aussi les chiffres cachés qui étaient noirs se détachèrent-ils très facilement. Dans les cas de falsification des écritures le lavage complet du papier ne peut faire disparaître la modification qui a été produite sur le grain du papier par la première encre; en photographiant par transparence ou bien à un jour très frisant, l'écriture faite avec la première encre apparaît à peu près complètement. Quelquefois les faussaires refont ainsi d'une manière complète des pages entières afin que l'on ne puisse juger à simple vue de la différence des deux encres.

Les usages que l'on fait de la photographie pour les affaires judiciaires sont des plus nombreux : lever des plans, constatation de l'état des lieux lors de catastrophes, incendies, éboulements, inondations, explosions, crimes et accidents quelconques. Dans ces divers cas, extrêmement nombreux, il est utile que l'expert connaisse à fond toutes les ressources de la photographie pour décider rapidement quels sont les appareils et procédés qu'il convient d'employer pour enregistrer d'une manière correcte les constatations qu'on lui demande.

986. Photographie des dépêches. — On sait que dans la transmission des dépêches par câble sous-marin on ne peut pas employer les récepteurs ordinaires : on se sert d'un récepteur formé d'une aiguille aimantée portant un miroir qui, par ses déviations dans un sens ou dans un autre, permet la transmission de signes convenus. Si l'on envoie sur ce miroir les rayons d'une lampe et qu'après réflexions ces rayons arrivent sur une plaque sensible animée d'un mouvement de translation, on pourra enregis-

trer les déviations plus ou moins grandes du rayon lumineux, déviations qui ne sont autres que les signes conventionnels admis pour la transmission des dépêches.

La photographie permet de contrôler très facilement les dépêches expédiées par télégraphie optique. Ce mode de transmission consiste à émettre un rayon lumineux d'un poste expéditeur à un poste récepteur au moyen de signaux conventionnels consistant en éclairs de plus ou moins grande durée; l'inscription automatique de ces éclairs au poste récepteur est relativement facile. MM. Loude[1], Mareschal et Ducom ont employé un instrument spécial, construit par M. Dessoudeix. Au foyer d'un appareil récepteur ils placent un système de rouleaux destinés à faire passer à ce point précis une bande de papier photographique très sensible, grâce à l'emploi d'un mouvement d'horlogerie dont la vitesse est calculée de façon à obtenir un déroulement de 2 centimètres à la minute; la dépêche s'imprime sur le papier qui est très sensible; il n'y a plus qu'à développer l'image et la fixer. Cet appareil n'est pas destiné à suppléer l'observation directe, mais uniquement à contrôler les résultats.

987. Enregistrement de la course des navires. — On a proposé divers moyens permettant d'enregistrer la direction d'un navire. Un des procédés les plus pratiques est celui de M. Pickwel[2]. L'aiguille d'une boussole est percée de telle manière qu'un rayon lumineux émanant d'une lampe spéciale tombe sur différentes parties du papier sensible, suivant la direction que prend le navire. Ce papier se trouve appliqué sur une sorte de tambour cylindrique qui effectue sa révolution autour de l'axe dans les vingt-quatre heures. Par l'inspection du papier développé et fixé, on peut voir pendant combien d'heures le navire a été dirigé vers le nord, le sud, l'est ou l'ouest; on peut donc suivre photographiquement sa course vraie et connaître le temps qu'il a mis à l'accomplir.

Un procédé assez semblable au précédent a été proposé par Freeson[3] pour enregistrer par la photographie la position que prend un projectile dans les différentes parties de sa course, c'est-à-dire ses déviations horizontales et verticales. La partie conique du projectile est percée d'un très petit trou derrière lequel on place une plaque sensible; on braque le canon sur le soleil qui, par l'ouverture percée à l'extrémité du projectile, envoie un filet de lumière sur la plaque sensible. La direction de ce pinceau lumineux change naturellement avec la position du projectile dans sa trajectoire; les déviations latérales sont indiquées par des lignes droites, tandis qu'un mouvement de rotation s'accuse par une spirale.

988. Applications à l'instruction des sourds et muets. — On peut instruire les sourds et muets en leur faisant regarder les lèvres d'une personne qui parle et leur faisant noter la position des lèvres pendant l'émission de certains sons. On a amélioré cette méthode en ayant recours à la

1. *La Photographie moderne*, p. 190.
2. *Aide-mémoire de photographie* pour 1884, p. 102.
3. *The British Journal of Photography*, 1889.

photographie. Pour cela, on a choisi un modèle dont les lèvres étaient spécialement conformées et chez lequel chaque son déterminait une expression bien caractéristique. On a pris alors une série de photographies de la bouche du modèle pendant qu'il émettait les sons composant un idiome : on est même parvenu à un tel résultat que dans beaucoup de cas une personne quelconque a éprouvé peu de difficulté à deviner le son émis par les lèvres du modèle d'après l'inspection de la photographie.

BIBLIOGRAPHIE.

Davanne. *La Photographie*, t. II.
Eder (Dr J.-M.). *Ausfürliches Handbuch der Photographie*, I.
Londe (A.). *La Photographie moderne.*
Monckhoven (Van). *Traité général de photographie.*
Radau. *La Photographie et ses applications scientifiques.*
Trutat. *La Photographie appliquée à l'histoire naturelle.*
— *La Photographie appliquée à l'archéologie.*
Vogel (H.). *Lehrbuch der Photographie.*
— *La Photographie et la Chimie de la lumière.*

LIVRE XXVIII

DES ACTIONS PRODUITES PAR LA LUMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

§ 1. — GÉNÉRALITÉS.

989. La lumière. — Nous avons vu que la lumière était un mouvement particulier de l'éther perçu par le sens de la vision, et nous avons examiné certains phénomènes produits par ce mouvement; il nous reste à montrer quelle est l'action de la lumière sur presque tous les corps : un grand nombre de modifications produites seraient susceptibles d'applications.

Les rayons lumineux ne sont pas homogènes, et dans l'expérience du spectre solaire on arrive à décomposer la lumière dite blanche en une infinité de radiations diversement colorées. Avant d'examiner les actions que peuvent produire ces radiations, nous étudierons les modifications produites par la lumière blanche sur tous les corps.

Il n'existe probablement pas de substance qui soit insensible à l'action de la lumière. Mais bien que cette action soit connue depuis plus de trois mille ans [1], on n'a qu'un nombre relativement restreint d'observations sur les phénomènes que produit la lumière : elle peut amener des modifications d'état de diverses substances, produire des décompositions, des combinaisons, agir, en un mot, comme la chaleur et l'électricité; les phénomènes produits par la lumière peuvent d'ailleurs être modifiés par l'influence de ces deux agents.

990. Changements d'états produits par la lumière. — Le phosphore blanc exposé à la lumière solaire devient rouge : ce changement s'effectue aussi bien dans le vide que dans l'oxygène, l'azote, l'eau, l'alcool, l'éther, l'essence de pétrole ou de térébenthine; la même action se produit très lentement sous l'influence de la lumière diffuse et des radiations ultra-

1. *Voyez* Berthelot, *Collection des anciens alchimistes grecs.*

violettes. On n'a pas pu produire cette modification avec la flamme du soufre et les feux de Bengale blanc.

Le chlore soumis à l'influence prolongée de la lumière solaire paraît se modifier. Mais d'après bien des auteurs, cette modification, signalée par Draper, serait uniquement due à la production de composés oxygénés du chlore; il est, en effet, assez difficile de dessécher complètement ce gaz et de le maintenir en cet état à la lumière solaire.

Une solution de soufre dans le sulfure de carbone exposée en tubes scellés à l'action de la lumière solaire laisse déposer du soufre insoluble en absorbant la partie violette du spectre jusqu'à G; cette observation est due à Lallemand[1]. Le soufre fondu à 130°, exposé au soleil, se recouvre d'une pellicule de soufre insoluble; on ne constate rien de pareil à l'obscurité ou avec le soufre solide, d'après les observations de Berthelot[2].

Hittorf a constaté que le sélénium amorphe, très divisé, se transformait en sélénium cristallisé par son exposition au soleil. May a constaté, en 1872, que le sélénium cristallisé, lorsqu'il est frappé par un rayon lumineux, conduit beaucoup mieux l'électricité que dans l'obscurité. On peut, d'après Siemens, augmenter considérablement cette sensibilité lumineuse en chauffant à 200° les minces bâtons de sélénium et en les refroidissant brusquement. C'est en partant de ces observations que James Bell a construit, en 1878, son photophone. Le changement du sélénium vitreux en sélénium métallique s'effectue avec un dégagement de chaleur[3] que nous avons trouvé égal à + $2^{Cal}84$.

Le sulfure de phosphore liquide se trouble à la lumière solaire et, d'après Wicke, redevient limpide dans l'obscurité.

Presque tous les verres, que l'on regarde à tort comme des substances inaltérables, se modifient assez rapidement à la lumière en devenant plus ou moins verdâtres, jaunâtres, violacés; les plus résistants sont le verre blanc de potasse, le cristal, et les verres colorés dans la masse. Nous avons constaté que la lentille frontale d'un objectif placé pendant plusieurs années dans un appareil d'agrandissement de Monckhoven (condensateur de 0^m50 de diamètre) présentait une teinte violacée uniquement dans la portion de la lentille qui avait été soumise directement aux rayons solaires extrêmement intenses en ce point. On attribue ces effets à des oxydations ou à des réductions sous l'influence solaire, des oxydes de fer et de manganèse qui entrent dans la composition de la plus grande partie du verre fabriqué.

La lumière solaire exerce une certaine influence sur la cristallisation des sels et même sur leur forme cristalline. Mitscherlich[4] a constaté ce phénomène sur le sulfate de nickel et sur le séléniate de zinc.

991. Combinaisons produites par la lumière. — Gay-Lussac et Thénard ont constaté, en 1831, que le chlore et l'hydrogène se combinent en produisant une explosion en présence de la lumière solaire; à l'ombre, la

1. *Fortsh. d. Phys.*, 1870, p. 400.
2. *Comptes rendus*, LXX, p. 941.
3. *Annales de chimie et de physique*, 6e série, t. X, p. 482.
4. *Pogg. Annal.*, VI, p. 19; XII, p. 141.

combinaison s'effectue lentement. Bunsen et Roscoë[1] ont utilisé cette réaction pour établir un photomètre. La vitesse de la combinaison est, en général, ralentie par l'introduction de gaz étrangers, même en petite proportion. Le chlore s'unit aussi à l'hydrogène combiné; sous l'action de la lumière il décompose l'eau en donnant de l'acide chlorhydrique et de l'acide chlorique. L'acétylène et le chlore détonent, même à la lumière diffuse. L'éthylène, le gaz des marais, l'oxyde de carbone se combinent rapidement avec le chlore en présence de la lumière solaire; dans ces conditions, la substitution du chlore à l'hydrogène dans les composés organiques (éther, acide acétique, benzine, etc.) est fortement activée. Des réactions analogues aux précédentes se produisent avec le brome.

La lumière accélère l'action de l'air sur les huiles en les décolorant. Presque toutes les résines sont modifiées par une exposition prolongée à l'air et à la lumière; les unes, comme le mastic, la sandaraque blanchissent; d'autres résines, gomme gutte, gomme ammoniaque deviennent plus foncées.

Le bitume de Judée est fort sensible à la lumière. C'est par l'emploi de ce corps que Niepce a obtenu les premières images à l'aide de la chambre noire; il les fixait en traitant la couche de bitume par un mélange de pétrole et d'essence de lavande : le bitume insolé est insoluble dans ce mélange. D'après Kayser[2], c'est un simple phénomène de polymérisation du bitume; la modification se produit aussi bien en vases clos et sans augmentation de poids; la fusion rend au bitume insolé sa solubilité dans les dissolvants.

Swan[3] a constaté que la lumière rend le caoutchouc insoluble dans la benzine et l'essence de térébenthine, mais soluble dans l'alcool; les solutions de caoutchouc sont également modifiées.

992. Décomposition de diverses substances. — La lumière solaire agissant sur les plantes décompose l'acide carbonique et l'eau par le tissu végétal, avec formations d'hydrate de carbone et d'un volume d'oxygène à peu près égal à celui de l'acide carbonique consommé. Presque toutes les matières végétales sont modifiées par la lumière. La plupart des couleurs organiques sont détruites sous l'influence de la lumière, de l'oxygène et de l'humidité. Dans ces conditions, les étoffes de lin et la cire d'abeille sont assez rapidement blanchies; les couleurs du fernambouc, du campêche, de la gaude, de l'épine-vinette sont rapidement détruites à la lumière. Les couleurs artificielles sont encore moins solides. Vogel[4] a constaté que la purpurine de garance, en solution légèrement alcaline, est détruite à la lumière; les couleurs d'éosine s'altèrent rapidement en quelques heures au soleil. La chrysoïdine, le brun de phénylène-diamine sont un peu plus solides; d'autres, au contraire, le sont moins, par exemple la fuchsine, le violet de méthyle. L'acide nitrocuminique devient rouge à la lumière; l'acide graphitique passe au brun ou au noir; la santonine dissoute dans l'acide acétique ou l'alcool et exposée au soleil se transforme en acide photosantonique;

1. *Pogg. Ann.*, XCVI, p. 373; C, p. 43; CI, p. 275; CVIII, p. 193.
2. *Phot. Correspondenz*, 1879, p. 171.
3. *Dingl. Polytech. Journ.*, vol. CXCIX, p. 511.
4. *Phot. Mittheilungen*, XIX, p. 48.

la quinine se transforme en quinicine. Le papier de bois devient jaune à la lumière ; dans les mêmes conditions, les éthers nitreux se colorent en jaune; le vert à l'iode, le bleu sont décolorés.

Les réactions photographiques sont presques toutes basées sur la décomposition que les sels métalliques éprouvent sous l'influence de la lumière.

Les chromates, en présence de matières organiques, sont réduits ; l'acide chromique se transforme en chromate de chrome. Cette première observation, faite en 1839 par Ponton, est la base d'une série de procédés de photocollographie. La colle-forte, l'albumine, la gomme arabique, la dextrine, le sucre de lait, la glycérine, l'alcool, etc., peuvent être employés à cette décomposition des chromates.

Les vanadates alcalins, comme l'a constaté Gibbons [1], mélangés de matières organiques et exposés à la lumière deviennent verts ou bleus ; avec ces sels la gélatine devient insoluble dans l'eau, comme avec les chromates. Phipson [2] a constaté que la solution sulfurique d'acide molybdique contenant des matières organiques devient bleu à la lumière.

Les sels ferriques mélangés de matières organiques sont décomposés à la lumière, et cette réaction sert de base aux procédés de photocopie par les sels de fer. Certains sels de manganèse subissent une décomposition analogue; les permanganates en solution sont décomposés par la lumière.

La solution de nitro-prussiate de soude se décompose assez vite sous l'influence de la lumière.

Le mélange de sels uraniques et de diverses matières organiques sont rapidement altérés au soleil; il se forme des sels uraneux; avec de l'acide oxalique, il se dégage de l'acide carbonique. La solution éthérée de chlorure d'urane, la solution alcoolique de nitrate ou de sulfate d'urane se colorent en vert à la lumière avec formation de sels uraneux.

On retrouve une sensibilité analogue à la précédente dans certains sels de cuivre; c'est ainsi que la liqueur de Fehling (solution alcaline de tartrate de cuivre) se réduit au soleil trente ou quarante fois plus vite qu'à l'obscurité. L'oxalate cuprico-sodique se réduit au soleil. Les plaques de cuivre chlorées, bromées ou iodées donnent des images daguerréotypes que l'on peut révéler au mercure; elles sont faiblement sensibles à la lumière, comme l'a constaté Talbot [3] en 1841.

Schœnbein a constaté que la lumière favorisait l'oxydation du plomb métallique. L'hydrate de plomb, en présence de l'oxygène, se colore peu à peu à la lumière en jaune, puis en brun, surtout en présence d'un alcool. Le sulfate de plomb très divisé s'oxyde rapidement à la lumière pour donner du sulfate de plomb. Steinheil s'est servi de ce procédé pour obtenir des images photographiques [4]. L'iodure de plomb, en présence d'un papier amidonné, se décompose rapidement sous l'action de la lumière solaire.

Presque tous les sels mercuriques sont décomposés par la lumière : le chlorure mercurique dissous, surtout en présence de matières organiques, se transforme en chlorure mercureux et chlore; le bromure se comporte de

1. *Jahresbericht d. Chem.*, 1874, p. 171.
2. *Ibid.*, 1883, p. 101.
3. *Dingler's Polytechn. Journ.*, vol. 82, p. 192.
4. *Fortsch. d. Physik.*, 1850, p. 522.

même. L'oxalate de mercure est si sensible aux radiations lumineuses qu'Eder[1] s'en est servi pour construire un photomètre. On sait depuis longtemps que l'oxyde mercureux se transforme à la lumière en oxyde mercurique rouge et en mercure métallique. La lumière solaire décompose partiellement l'oxyde rouge de mercure en oxygène et oxyde mercureux. L'iodure mercurique étendu sur le papier brunit assez vite au soleil; dans ces conditions, le calomel devient gris. Dans le procédé du daguerréotype les vapeurs mercurielles se fixent sur l'argent aux places frappées par la lumière et proportionnellement à la lumière reçue. Schnauss[2] a constaté que l'iodure de mercure, formé par double décomposition d'un collodion iodure et de nitrate mercureux, peut fournir, par une courte exposition à la chambre noire, une image que l'on peut développer par l'emploi des solutions d'acide pyrogallique et de nitrate d'argent acidifié.

Un papier imprégné d'une dissolution de chlorure, d'iodure, de bromure ou de cyanure de platine est sensible à la lumière. Le chlorure dissous dans l'eau, additionné d'acide oxalique ou tartrique, est rapidement réduit; il en est de même du chlorure de palladium et de celui d'iridium et ammonium.

Les sels d'or sont décomposés assez facilement par la lumière; l'oxyde d'or est rapidement détruit; la solution aqueuse de chlorure d'or se réduit très vite en présence de matières organiques telles que le sucre, l'acide oxalique, le papier, etc.

Les sels d'argent sont utilisés en photographie à cause de leur grande sensibilité à la lumière. Le nitrate d'argent à l'état pur ou en solution aqueuse privée de matières organiques est insensible à la lumière[3]. Avec des substances organiques, comme par exemple de l'albumine, de la colle, du papier, le noircissement à la lumière s'effectue très rapidement; il en est de même si le nitrate est appliqué sur du papier, du cuir, des étoffes.

Le fluorure d'argent est moins sensible à l'action de la lumière que les chlorure, bromure et iodure du même métal; il ne noircit pas fortement quand il est exposé à la lumière directe. Le chlorure d'argent exposé à la lumière se colore en violet. Cette modification se produit à toute température dans l'air ou dans le vide; mais, dans ce dernier cas, Tommasi[4] a constaté que le chlorure d'argent abandonné dans l'obscurité reprend sa teinte primitive. La coloration ne se produit pas en présence des sels ferriques, de l'eau de chlore, de l'acide sulfurique fumant. On admet, sans que le fait soit bien démontré, qu'il se forme du sous-chlorure d'argent lorsque le chlorure est exposé à la lumière, mais on n'est pas encore parvenu à préparer le sous-chlorure d'argent à l'état de pureté. Ce sous-chlorure d'argent coloré serait décomposé en chlorure et en métal par les agents fixateurs. La sensibilité du chlorure d'argent à la lumière dépend de son mode de préparation. S'il a été formé en présence d'un excès de nitrate d'argent, il est plus sensible que lorsqu'il a été préparé en présence d'un chlorure alcalin; sa décomposition est accélérée par les matières sus-

1. *Phot. Mittheilungen*, VIII, p. 188.
2. *Phot. Archiv.*, 1875, p. 13.
3. *Forts. d. Phys.*, 1845, p. 279.
4. *Annal. Phys. Chemie*, 1879, p. 621.

ceptibles d'absorber le chlore mis en liberté sous l'action lumineuse. C'est là ce qui explique l'emploi du tannin, de la gélatine, de la morphine, du protochlorure d'étain. La coloration que prend le chlorure d'argent sous l'influence de la lumière dépend des métaux existant dans la solution lors de sa précipitation; dans ce cas, il entraîne facilement les chlorures solubles qui ont servi à sa précipitation; c'est ainsi que, préparé en présence du perchlorure de fer, il entraîne une petite quantité de cette substance et devient insensible à la lumière. Le bichlorure de mercure agit à peu près de la même manière. Le chlorure d'or se combine assez bien au chlorure d'argent qu'il rend rouge; à la lumière, on obtient rapidement de l'or réduit. La combinaison de chlorure de plomb et de chlorure d'argent se réduit à la lumière. Toutes ces diverses combinaisons du chlorure d'argent sont détruites, par une digestion assez prolongée, avec l'acide chlorhydrique.

Le bromure d'argent se colore à la lumière en gris violet; le changement s'effectue moins vite qu'avec le chlorure, mais plus rapidement qu'avec l'iodure. Une petite quantité de nitrate d'argent libre favorise sa décomposition par la lumière; lorsqu'il est précipité avec un excès de bromure alcalin, il est plus sensible que le chlorure précipité avec un excès de chlorure alcalin. Carey Lea a observé que le bromure d'argent noirci par la lumière cède une certaine quantité d'argent à l'acide nitrique.

L'iodure d'argent se colore en brun à la lumière s'il se trouve en présence d'un excès de nitrate d'argent; il ne paraît pas éprouver de modification en présence d'un bromure alcalin[1]. Il n'est pas possible, comme l'a constaté Vogel, de déceler la mise en liberté d'iode pendant ou après ce changement de couleur; le phénomène est considérablement retardé par la présence des acides. L'acide nitrique, l'iodure de potassium blanchissent l'iodure brun, il ne se dissout pas d'argent. Il est probable que l'action de la lumière produit un sous-iodure d'argent. Les substances qui absorbent l'iode, telles que le nitrate d'argent, le tannin, l'arséniate de soude, activent l'action de la lumière, comme l'a constaté Vogel[2].

L'eau iodée contrebalance l'action de la lumière. Griveaux l'a démontré en plongeant dans un liquide deux plaques d'argent iodées, faces iodées en dehors, et soumettant une de ces plaques à la lumière : il se produit un courant électrique d'intensité déterminée qu'on peut réduire ou annuler en faisant arriver sur les plaques un courant d'eau iodée; il y a un rapport manifeste et constant entre la concentration de l'eau iodée et la diminution de force électro-motrice.

L'eau oxygénée se décompose rapidement à la lumière, lentement dans l'obscurité. Les acides hypochloreux, chloreux et hypochlorique sont décomposés par la lumière en oxygène et chlore. La décomposition du chlorure de chaux est activée en présence de la lumière; il en est de même de l'eau bromée et des hypobromites dissous.

L'acide iodhyrique dissous dans l'eau, les éthers iodhydriques ne peuvent être conservés à la lumière; il en est de même de l'acide nitrique concentré, qui devient rouge avec formation d'acide azoteux ou d'acide hypoazotique. Au soleil, l'acide azotique anhydre se décompose très rapidement.

1. *Phot. Archiv.*, p. 115.
2. *Bulletin belge de la photographie*, 1864 et 1865.

Dans les mêmes conditions, l'hydrogène phosphoré ordinaire dépose du phosphore et perd la propriété de s'enflammer spontanément.

Ingenhouz a constaté que les plantes épurent l'air sous l'action de la lumière. Sennebier a montré qu'au soleil les feuilles décomposent l'acide carbonique, rendent l'oxygène et absorbent le carbone ; une partie de l'acide carbonique reste dans le tissu végétal ainsi qu'une partie de l'eau. L'acide carbonique est absorbé par la partie supérieure des feuilles ; l'oxygène est entraîné vers les racines et s'échappe par la surface inférieure des feuilles. Par la décomposition de l'eau et de l'acide carbonique, il se forme du bois : cette formation exige un certain nombre Q de calories, précisément égal à la force vive que dégage ce bois quand on le brûle. Les plantes doivent donc emprunter des rayons solaires proportionnellement à la décomposition effectuée par elles.

Les radiations lumineuses sont empruntées au soleil par les végétaux ; fixées par eux, elles sont transformées en travail chimique équivalent : il y a fixation de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, et, par conséquent, production de matières organiques. Ces matières nourrissent les animaux, qui rendent à l'atmosphère de l'hydrogène, de l'eau et de l'acide carbonique ; ils restituent sous forme de chaleur la force vive empruntée au soleil. Il est à remarquer que les végétaux purifient l'air et que les animaux le vicient ; les premiers absorbent la lumière solaire, les autres la restituent sous forme de chaleur obscure ou de force. On voit donc que la chaleur, la lumière, le travail, la force ont pour origine le soleil.

993. Influence de la température. — Il est à remarquer que plusieurs des changements provoqués par l'action de la lumière se produisent aussi par une élévation de température ; c'est ainsi que la combinaison de chlore et d'hydrogène se produit vers 200°. Mais il ne faudrait pas croire qu'une température élevée puisse remplacer l'action de la lumière ; c'est ainsi que le chlorure, le bromure d'argent ne se décomposent pas au rouge ; ce sont là cependant des corps facilement décomposables par la lumière. D'ailleurs, la lumière agit encore quand on a absorbé les radiations calorifiques à l'aide de certains artifices spéciaux, tels que l'interposition d'une cuve d'alun sur le trajet des radiations lumineuses. Cette expérience montre que les hypothèses de Rumford en 1798, celles de Gay-Lussac et Thénard en 1811, ayant pour conséquence d'expliquer l'action chimique de la lumière par une élévation de la température, ne peuvent être admises. Il est cependant certain que dans bien des cas l'élévation de la température augmente l'action de la lumière ; on constate, par exemple, que pendant l'hiver l'impression des images sur papier à l'iodure d'argent et à la lumière artificielle s'effectue plus lentement que pendant l'été.

§ 2. — DÉVELOPPEMENT DE L'IMAGE LATENTE.

994. Image latente. — La lumière exerce sur le chlorure, le bromure et l'iodure d'argent des modifications considérables sans que les caractères physiques de ces sels, même à l'observation

microscopique, semblent modifiés. On peut mettre en évidence les altérations produites par la lumière à l'aide de certains agents chimiques appelés *révélateurs* ou *développateurs*. Dans le cas d'une exposition suffisamment courte, la lumière produit sur le composé sensible une action dite *latente*. L'image invisible que porte la plaque après son exposition dans la chambre noire est appelée *image latente*.

On a fait de nombreuses hypothèses pour expliquer l'altération que la lumière fait subir aux sels d'argent tels que l'iodure et le bromure : on a constaté que le composé sensible à la lumière est à peu près indifférent à l'action des réducteurs s'il a été maintenu à l'abri des radiations actiniques ; au contraire, s'il a été frappé par des ondes lumineuses à courte période, le sel d'argent est rapidement décomposé par les révélateurs.

995. Hypothèse chimique. — Dans l'hypothèse chimique, l'image latente produite par une courte exposition dans la chambre noire serait due, comme l'image visible résultant d'une action prolongée à la lumière, à une véritable décomposition de bromure d'argent. Si la décomposition du bromure d'argent est totale, on aperçoit l'image constituée par le sous-sel d'argent ; si elle n'est que partielle, les molécules d'argent ou de sous-sel d'argent sont trop disséminées dans la masse de la couche pour laisser une trace perceptible, et la lumière produit alors une image latente qui apparaîtra par l'action du développateur.

Cette décomposition est-elle permanente ? Nous l'ignorons absolument, car jusqu'à présent il n'a pas été fait d'expériences sur tous les composés d'argent à l'état de pureté. On ne peut tirer aucun argument de ce que les plaques au gélatino-bromure d'argent conservent l'image latente pendant plusieurs mois ; dans ce cas, en effet, le bromure d'argent se trouve en présence d'un corps susceptible d'absorber le brome ; on ne peut donc rien conclure. L'expérience de Tomassi, dans laquelle du chlorure d'argent pur, placé à la lumière dans le vide, noircit d'abord, puis, placé dans l'obscurité, reprend son aspect primitif, semble démontrer que la lumière ne produit pas sur ce sel l'altération permanente que l'on est convenu de regarder comme caractéristique de tout phénomène chimique. Le produit transitoire formé sous l'action de la lumière ne saurait d'ailleurs se conserver indéfiniment, et l'expérience prouve qu'il en est ainsi.

996. Hypothèse dynamique. — La lumière, quand elle est

suffisamment intense, produit, il est vrai, une décomposition du bromure d'argent; mais ce n'est pas là ce qui est la cause du développement de l'image latente : on suppose que les ondes lumineuses, avant de décomposer la substance sensible, produisent un bouleversement de ses molécules, l'amenant ainsi à un état moléculaire nouveau sous lequel il serait facilement décomposable par les révélateurs.

Cette manière de voir est d'accord avec les faits. L'action de la lumière peut alors être comparée à celle de la chaleur produisant des corps isomorphes. Dans cette hypothèse, tout corps insolé changerait d'état; après l'insolation, on n'aurait plus le corps primitif, mais on aurait :

$$\text{Corps insolé} + Q \text{ calories.}$$

et le nombre Q de calories serait suffisant pour produire le travail préliminaire indispensable pour que la réaction chimique puisse s'accomplir, qu'il y ait composition ou décomposition. On s'explique ainsi comment les composés d'argent à l'*état de pureté* et primitivement insolés perdent spontanément la propriété de fournir une image développable : cette transformation est comparable à celle du soufre prismatique qui se transforme spontanément en soufre octaédrique avec un dégagement de $0^{Cal}0{,}4$. On n'est pas encore parvenu à mesurer le nombre de calories nécessaires pour que la réaction chimique du développement puisse s'accomplir; mais rien ne fait prévoir que cette mesure soit impossible à effectuer, malgré les réelles difficultés présentées par une opération de cette nature.

997. Hypothèses diverses — On peut traiter théoriquement la question du développement de l'image négative et examiner ce que produisent les ondes lumineuses venant frapper les composés sensibles : elles doivent écarter leurs centres moléculaires et affaiblir par suite les liens qui unissent les molécules les unes aux autres. Les molécules ainsi séparées acquièrent une certaine *énergie potentielle* leur permettant d'exercer sur les corps environnants une attraction plus grande que l'attraction exercée par les molécules intimement combinées. Si l'on recouvre une plaque impressionnée d'un réactif contenant de l'argent facilement précipitable, la réaction commencera aux divers points contenant des molécules frappées par la lumière; l'argent se déposera seulement sur les parties de la plaque qui correspondent aux clairs de l'image. Les réactifs qui agissent ainsi sont appelés des *révélateurs physiques;* ils permettent de révéler les plaques contenant peu d'argent comme les plaques au collodion humide.

On peut aussi traiter la couche insolée par un corps capable de réduire le sel d'argent. La réaction s'effectuera en divers points contenant des molé-

cules sensibles écartées les unes des autres par la lumière ; dans les autres parties de la couche qui n'auront pas été insolées, il ne se produira pas de réduction du composé argentifère. Les réactifs qui agissent ainsi sont des *révélateurs chimiques*.

Lermantoff[1] a étudié le mode de formation de l'image négative dans le procédé du collodion humide. Il admet que le produit de la décomposition des couches au collodion humide à l'iodo-bromure d'argent est de l'argent métallique. Ces molécules forment des couples voltaïques locaux avec les molécules d'azotate d'argent et de sulfate de fer ou d'acide pyrogallique du révélateur ; par le dépôt d'argent l'image devient visible. Davanne a constaté que si l'on trace sur une carte des lignes à peine visibles avec une lame d'argent, ces lignes se développent dans un bain réducteur additionné d'azotate d'argent. On peut donner une autre forme à cette expérience qui vérifie la manière de voir de Lermantoff : sur une glace nettoyée au tripoli et à l'iode, on trace avec de la paraffine, un crayon, du cuivre, de la soudure d'étain, le nom de ces substances, puis on verse sur la glace le révélateur au sulfate de fer mélangé d'argent. Les mots soudure, platine, cuivre, crayon se développent, mais le mot paraffine forme un négatif, car la glace se recouvre d'un voile ; l'empreinte du doigt qui tenait la glace a disparu pendant le développement ; il en est de même avec le révélateur pyrogallique. Si l'on examine la glace au microscope, on constate que les grains d'argent réduit sont identiques à ceux qui constituent un négatif ; il suit de là que les molécules d'un corps conducteur de l'électricité fixée à la surface du verre suffisent pour former une image à l'aide du révélateur, ce qui conduit à dire que le phénomène du développement est un phénomène galvanique ou galvanoplastique. En effet, un couple voltaïque moléculaire pourrait se former d'une molécule d'argent ou de quelque autre corps conducteur, d'une molécule d'argent et d'une molécule de sulfate de fer, au milieu du révélateur mélangé de sel d'argent et versé sur la glace. Si la force électro-motrice de cet élément est suffisante, l'azotate peut se décomposer et une molécule d'argent peut se déposer sur la première. Le mouvement du liquide met continuellement d'autres molécules d'azotate et de sulfate en contact avec l'argent déjà déposé, et l'action se continue jusqu'à épuisement du mélange.

Si cette hypothèse est vraie, on peut former un élément voltaïque de dimensions ordinaires avec une lame d'argent courbée en V, un révélateur et une solution d'azotate d'argent séparés par une cloison poreuse en parchemin végétal. Lermantoff a réalisé cet élément en employant un révélateur à sulfate double de fer et d'ammoniaque et la solution d'argent servant à renforcer. Les lames ont 0^m003 sur 0^m001 de section. Peu de temps après la composition du couple, l'électrode plongée dans l'azotate d'argent se recouvre de cristaux métalliques, et une heure après on obtient des aigrettes d'un blanc éclatant. Si l'on se sert d'un fil de platine la quantité d'argent déposée est moindre. Le révélateur à l'acide pyrogallique donne d'abord quelques cristaux, mais les liquides se mélangent bientôt à travers la cloison poreuse.

Carey Lea[2] a étudié les différentes substances propres à développer les

1. *Journal de physique de d'Almeida*, t. IV, p. 376.
2. *Americ. Journ.*, XIX, 1880.

diverses images photographiques latentes : il a constaté qu'on obtient des images par l'emploi du phosphate, du borate, du sulfite et de l'hyposulfite de fer en dissolution dans l'oxalate d'ammoniaque ou de potasse. Il a remarqué certaines anomalies : le formiate de fer développe faiblement ; le phosphate et le métaphosphate de fer sont très actifs. Le pyrophosphate ne possède en aucune façon cette propriété. Les sels de fer les plus actifs sont le phosphate dissous dans l'oxalate neutre d'ammoniaque et le borate, le sulfite, l'oxalate en dissolution dans l'oxalate neutre de potasse.

Les révélateurs doivent être des substances avides d'oxygène, c'est-à-dire facilement réductrices, décomposant le sel d'argent par l'intermédiaire de l'eau. Dans le procédé au gélatino-bromure d'argent, il est nécessaire que le révélateur soit facilement oxydable, car son avidité pour l'oxygène d'une part, et la tendance que possède l'hydrogène de s'unir au brome d'autre part, suffisent pour déterminer les réactions qui amènent la décomposition du bromure d'argent. Il ne faudrait pas croire que toutes les substances facilement oxydables puissent être employées comme révélateurs, attendu que le produit de leur oxydation tend quelquefois à déterminer une réaction inverse prédominante ; c'est ainsi que des réducteurs puissants, tels que l'acide sulfureux et l'hypophosphite de sodium, ne peuvent pas développer l'image latente [1]. Une plaque d'argent poli, exposée aux vapeurs d'iode, de brome ou de chlore, condense la vapeur de mercure aux places frappées par la lumière. C'est Daguerre qui a observé le premier cette condensation du mercure et en a fait la base de son procédé de photographie sur plaqué d'argent.

Poitevin a montré que pour que la lumière puisse réduire une substance il fallait que cette substance fût en contact ou mélangée avec une autre pouvant absorber l'élément perdu et former un composé plus stable à la lumière que le premier [2]. Il a émis l'opinion que l'action de la lumière sur l'iodure d'argent chimiquement pur est nulle lorsque cet iodure est isolé de toute substance pouvant retenir l'iode qu'elle tend à mettre en liberté ; il admettait que la lumière produisait une action chimique sur l'iodure d'argent [3].

Carey Lea [4] a prouvé que par le développement d'une plaque au collodion humide il ne disparaissait pas d'iodure ou de bromure d'argent. En effet, la dissolution de pernitrate de mercure très étendu fait disparaître en trois ou quatre minutes une image obtenue sur plaque préparée au collodion humide. On lave la plaque, on obtient une couche uniforme ; il n'y a pas départ d'argent, par suite pas d'iodure ou de bromure employé à former l'image. Si après le développement on fait agir le pernitrate de mercure dans l'obscurité l'image disparaît. Après lavages on peut traiter la plaque par le révélateur, composé de sulfate de fer, nitrate d'argent et acide citrique. L'image se développe régulièrement, donc la couche avait conservé le pouvoir de reproduire une deuxième fois l'image ; par suite l'iodure d'argent a subi une modification physique bien distincte de la réduction. On arrive

1. De La Baume Pluvinel, *Le développement de l'image latente*, p. 5.
2. *Traité de l'impression photographique sans sels d'argent*, p. 129.
3. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1866, p. 200.
4. *Philadelphia photographer*, 15 juin 1865 et 15 mars 1866.

au même résultat par l'emploi du révélateur pyrogallique. On voit donc que l'impression produite par la lumière sur la couche sensible n'est pas épuisée par le premier développement. La simple pression d'ailleurs suffit pour obtenir une image latente. Carey Lea a comparé le développement aux précipités qui se forment suivant les traces laissées dans les verres à expérience par les baguettes qui servent à agiter les précipités. A. Girard [1] a montré que l'iodure d'argent soumis à la pression est susceptible de se développer sous l'action des révélateurs. Il a fait l'expérience en comprimant l'iodure d'argent à l'aide de matières inorganiques qui ne peuvent céder aucune substance à ce composé, et dans ce but s'est servi de tubes de verre, plaques de quartz, etc. On peut, d'après Carey Lea [2], admettre que la lumière agissant sur l'iodure d'argent produit une action physique. Si l'iodure est pur, il y a simple modification de l'iodure; s'il se trouve en présence de nitrate d'argent, l'iodure insolé réagit sur le nitrate d'argent. Presque toujours dans le mode de préparation des glaces au collodion humide il se forme une combinaison de matière organique et de nitrate d'argent. Dans le but de prouver que, contrairement à l'opinion de Poitevin, l'iodure d'argent pur est sensible à la lumière, Carey Lea [3] a transformé en iodure le dépôt d'argent métallique formé sur verre par le procédé d'argenture des miroirs; la couche obtenue, sensibilisée par la teinture d'iode et lavée, permet d'obtenir une image, et cependant il n'y a pas de matière organique en présence. On peut aussi répéter cette expérience en employant, pour transformer l'argent en iodure, la dissolution d'iode dans l'iodure de potassium. La couche bien lavée fournit une surface sensible qui, exposée à l'action de la lumière, permet d'obtenir une image par développement. Cependant il est certain, comme l'a démontré Vogel [4], que la sensibilité de l'iodure d'argent à la lumière est exaltée à un haut degré par les corps qui absorbent l'iode. Ces corps, tels que les sels d'étain, l'arséniate de soude, les sels d'argent, exercent une action sensibilisatrice sur l'iodure d'argent. Le sulfate de fer absorbe l'iode en présence de la lumière.

Carey Lea [5] admet que l'iodure d'argent frappé par la lumière est dans un certain état vibratoire; tant que cet état se maintient, l'iodure d'argent est apte à se décomposer instantanément lorsqu'il est mis en contact avec une quelconque des substances qui en auraient déterminé sa décomposition si, conjointement avec cet iodure, elle avait subi l'impression lumineuse. Il compare ce phénomène à celui de la phosphorescence et l'appelle l'*actinescence*. Il définit l'actinescence la faculté de pouvoir retenir l'action des radiations chimiques et, par suite, de pouvoir subir la décomposition sous l'influence de la lumière.

Terry [6] admettait que l'image métallique était due à une action galvanique; il n'avait pas cependant fourni de preuves permettant de vérifier cette hypothèse.

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1866, p. 89.
2. *Ibid.*, 1866, p. 257.
3. *Philadelphia photographer*, février 1866.
4. *Bulletin belge de la photographie*, 1866, p. 86.
5. *Philadelphia photographer*, juin 1867.
6. *Amer. Journ. Phot.*, 1867.

998. Action des divers révélateurs. — Nous avons indiqué comment agit le révélateur au sulfate de fer et nitrate d'argent dans le procédé au collodion humide; il nous reste à examiner ce qui se produit dans le cas des plaques sèches subissant l'action de la lumière, et en particulier nous devons étudier le mode d'action des divers révélateurs usités pour les plaques au gélatino-bromure. Les révélateurs les plus employés sont la dissolution d'oxalate de fer et celle d'acide pyrogallique ou de ses isomères, mélangés à des substances alcalines.

Dans le développement par l'oxalate ferreux, on peut admettre qu'il se produit les réactions suivantes : l'oxalate ferreux s'oxyde, passe à l'état d'oxalate ferrique et d'oxyde ferrique; l'hydrogène de l'eau mis en liberté se porte sur le bromure d'argent modifié, qu'il réduit en donnant de l'argent métallique et de l'acide bromhydrique. Cet acide bromhydrique agit sur l'oxyde ferrique mis en liberté et donne du bromure ferrique et de l'eau. L'argent réduit dessine les parties claires de l'image et il reste une solution d'oxalate ferrique et de bromure ferrique; par conséquent, le bromure ferrique agissant comme le chlorure ferrique sur le bromure d'argent insolé, on doit obtenir avec un bain ayant déjà servi des images plus brillantes qu'avec un bain neuf ne contenant pas de bromure; c'est ce que vérifie l'expérience. On pourra de même régénérer les bains ayant servi en les additionnant d'une matière organique, telle que l'acide tartrique, recommandé par Alexandre[1]. En mélangeant une matière organique à un sel ferrique, la matière organique est oxydée et le sel ferrique passe à l'état de sel ferreux. La désoxydation s'effectue rapidement en présence de la lumière solaire.

L'acide pyrogallique en solution possède la propriété d'absorber l'oxygène de l'air. On obtient en même temps que certains produits bruns dont la composition n'est pas parfaitement établie divers acides tels que l'acide oxalique, l'acide acétique, l'acide carbonique. En ajoutant aux solutions d'acide pyrogallique un alcali qui peut s'emparer de ces acides au fur et à mesure de leur production, on active considérablement l'action de l'oxygène. A l'abri de l'air et en présence de l'ammoniaque il se produit une combinaison cristallisée de pyrogallate d'ammonium. Ce corps est très avide d'oxygène; il possède des propriétés réductrices qui lui permettent de jouer le rôle de révélateur. La réduction du bromure d'argent se fait, comme dans le cas de l'oxalate ferreux, par l'intermédiaire de l'eau : il se forme de l'acide bromhydrique et de l'argent métallique est précipité. L'addition d'un alcali active le développement, non seulement en s'emparant des acides provenant de l'oxydation de l'acide pyrogallique, mais aussi en se combinant à l'acide bromhydrique produit par la décomposition de l'eau; aussi le bain révélateur contient du bromure d'ammonium. L'hydroquinone et ses isomères la pyrocatéchine et la résorcine, agissent d'une manière tout à fait comparable à celle de l'acide pyrogallique.

1. *Revue photographique*, 1881, p. 10.

§ 3. — ACTION DE DIVERSES RADIATIONS.

999. Spectre solaire. — Les rayons lumineux ordinaires ne sont pas homogènes; ils sont composés d'une infinité de radiations simples; on le vérifie en faisant passer un rayon solaire à travers un prisme (**25**) : le rayon réfracté n'est plus blanc. On constate que l'on peut recueillir sur un écran une bande dont la coloration passe insensiblement du rouge au violet. Le rouge étant moins dévié que le violet est dit moins réfrangible; si l'on isole à l'aide d'une fente mince une faible portion du spectre et qu'on fasse passer ce rayon à travers un prisme, il sera dévié mais ne se dédoublera plus : on dit que cette lumière est de la lumière *simple*. Le spectre solaire est interrompu à certaines places par des raies noires que l'on utilise comme points de repère. Dans la lumière solaire on reconnaît ainsi l'absence de certaines radiations absorbées par l'atmosphère solaire; ces raies correspondent dans l'atmosphère solaire à la présence de métaux en vapeurs. Le spectre d'une lumière artificielle, comme celle d'une bougie, est continu, tandis que les vapeurs des métaux ou de leurs composés donnent des spectres caractérisés par des lignes lumineuses dont l'écartement offre des rapports invariables et dont la couleur est la même que celle des régions du spectre occupant la même position : ce sont des spectres discontinus. Si le spectre est composé d'une raie ou d'une série de raies extrêmement voisines, la flamme colorée par les vapeurs qui fournissent ce spectre est dite flamme *monochromatique*.

Un spectre continu peut être *incomplet;* c'est ce qui se présente lorsque l'on chauffe progressivement un filament de charbon ou un fil de platine : on obtient un spectre dans lequel apparaît d'abord la partie rouge; le jaune, le vert, le bleu apparaissent à mesure que la température s'élève; le violet n'apparaît qu'au rouge blanc.

Les diverses radiations simples peuvent être réfléchies, transmises ou absorbées soit en totalité, soit en partie. La couleur propre des corps est la résultante de la composition des diverses radiations qu'ils réfléchissent ou qu'ils laissent passer. On dit qu'une couleur est pure lorsqu'elle ne laisse passer ou qu'elle ne réfléchit qu'une région limitée du spectre solaire, comprenant un nombre très restreint de radiations, telles que les rouges, les jaunes ou les bleues.

Pour décomposer la lumière, on peut employer des prismes de diverses substances. Si l'on se sert d'un prisme de quartz, on distingue nettement après la partie violette une portion qui est gris lavande, traversée par des raies noires : c'est le spectre ultra-violet qui présente une étendue environ du double du spectre ordinairement visible.

L'intensité lumineuse n'est pas la même dans toute la région du spectre. Le maximum d'intensité se trouve dans le vert moyen lorsqu'on emploie comme source lumineuse la lumière solaire; pour la flamme du bec de gaz il est dans le jaune.

Les radiations calorifiques présentent leur maximum d'intensité au delà du rouge; on le reconnaît en interposant un couple thermo-électrique sur le trajet du faisceau lumineux.

L'intensité des actions chimiques varie suivant la nature de la substance exposée au spectre et la nature du verre qui constitue ce spectre. Becquerel[1] a étudié cette action sur la plaque d'argent iodée développée avec les vapeurs de mercure. Il a trouvé un premier maximum entre les raies D et E; il correspond presque à celui de l'intensité lumineuse; l'autre maximum est placé entre G et H. Draper en 1842, Hunt[2], Herschell et plusieurs autres physiciens ont étudié l'action du spectre, soit sur la plaque iodée, soit sur le papier préparé à l'iodure d'argent, soit par d'autres procédés. Van Monckhoven[3] a constaté que pour une exposition très prolongée de l'iodure d'argent à la lumière le maximum est situé à la raie Hγ.

Les radiations colorées peuvent donc produire de la lumière, de la chaleur et des actions chimiques. Certains corps absolument incolores peuvent être opaques pour les radiations obscures, soit calorifiques, soit chimiques. Le sel gemme et le quartz sont à peu près les seuls corps transparents pour toutes les radiations. Le verre est assez fortement opaque pour les radiations obscures; l'alun, l'acide citrique, l'eau arrêtent les radiations obscures calorifiques; le fluorure de calcium et le spath sont au contraire transparents pour ces rayons. Le sulfure de carbone absorbe l'ultra-violet depuis la raie L environ; la créosote, l'essence d'amandes amères, le bisulfate de quinine, l'acide nitrique et les nitrates absorbent totalement les rayons ultra-violets. Des corps noirs ou très colorés qui absorbent tout le spectre visible et ultra-violet ne laissent passer que les rayons infra rouges; la solution concentrée d'iode dans le sulfure de carbone est dans ce cas.

Certaines substances ont la propriété d'absorber la lumière, de l'emmagasiner et de rester lumineuses à l'obscurité; le diamant est dans ce cas. Les phénomènes de phosphorescence ont été observés dès la plus haute antiquité[4]. Les anciens connaissaient le moyen de rendre les pierres phosphorescentes dans l'obscurité par l'usage de teintures superficielles provenant de matières dont nous connaissons les propriétés analogues. Cette phosphorescence, due à l'application de matières organiques oxydables, ne devait pas être durable[5].

Lorsque la force vive du mouvement vibratoire de l'éther disparaît, il peut se produire un travail chimique. C'est ce qui arrive lorsque les radiations ultra-violettes agissent sur du chlorure d'argent; si ces radiations tombent sur les sulfures alcalino-terreux, tels que le sulfure de calcium, il ne se produit aucun travail chimique, mais la substance devient peu à peu lumineuse; quand la radiation a cessé d'agir, l'effet lumineux subsiste. La force vive de la vibration est transformée en une vibration nouvelle, en général moins réfrangible. Les phénomènes de phosphorescence et de fluorescence se rattachent à ces transformations.

On observe aisément les phénomènes de phosphorescence en se servant de sulfure de calcium. A. Verneuil[6] a précisé les modes de fabrication des sulfures

1. *La Lumière*, 1868.
2. *Researches on Light*, 1854.
3. *Traité général de photographie*, 1882, p. 22.
4. Voyez Berthelot, *Collection des anciens alchimistes grecs*, IV^e^ partie, les *Vieux auteurs*, p. 337.
5. Berthelot, *Introduction à l'étude de la chimie des anciens et du moyen âge*, p. 274.
6. *Comptes rendus*, 1886.

phosphorescents. On obtient le sulfure de calcium à phosphorescence d'un bleu-violet en calcinant un mélange de 100 parties de chaux de coquilles d'*Hypopus vulgaris*, 30 parties de soufre, 0,02 parties de sous-nitrate de bismuth et 10 parties d'amidon. On peut remplacer la coquille d'*Hipopus* par du carbonate de chaux pur imbibé d'une solution contenant, pour 100 parties de carbonate de chaux, 5,4 parties de carbonate de soude cristallisé et 1, 2 de chlorure de sodium. On calcine au rouge vif pour produire la chaux, on laisse refroidir et on mélange avec le soufre et le sous-nitrate de bismuth; on calcine alors de nouveau. Le sous-nitrate de bismuth doit être dissous dans l'alcool avec un peu d'acide chlorhydrique. Pour obtenir une phosphorescence jaune, on ajoute 1 à 2 % de peroxyde de manganèse; l'addition des sels alcalins seuls donne une lumière verte.

Si on enduit une feuille de papier avec une substance phosphorescente et si l'on projette sur cette surface le spectre, la phosphorescence se produira seulement sur les parties les plus réfrangibles du spectre; cette phosphorescence dure pendant un certain temps. Si l'on dirige sur la partie phosphorescente la lumière rouge peu réfrangible, il se produit un effet particulier, la phosphorescence devient très vive, mais disparaît rapidement. Les radiations émises par la plaque phosphorescente sont toujours moins réfrangibles que la radiation excitatrice.

Le pouvoir absorbant des sulfures alcalino-terreux pour la lumière blanche ne semble pas indéfini, il paraît arriver à un maximum et diminue ensuite sous l'influence des radiations calorifiques. La durée de l'émission phosphorescente est très variable avec les divers sulfures. Les sulfures de calcium et de strontium sont encore lumineux après trente heures; mais l'intensité de la phosphorescence décroît rapidement aussitôt après l'exposition, comme l'a constaté Becquerel. Warnerke a employé la phosphorescence du sulfure de calcium pour son sensitomètre [1].

Quand on éclaire un cristal de fluorure de calcium à l'aide d'une lumière assez vive, il émet une lumière bleue. Certains sels d'urane, les platinocyanures émettent dans les mêmes conditions une lumière particulière. C'est un mode spécial de phosphorescence dans lequel le phénomène cesse de se produire aussitôt que la lumière excitatrice disparaît. La *fluorescence* est due à l'absorption lumineuse de certaines radiations et la force vive se dépense au fur et à mesure de sa réception. Les rayons absorbés sont les seuls qui agissent : ce sont les violets et les ultra-violets. Avec les violets, la fluorescence est extrême; il ne se produit pas de phénomènes sensibles avec les radiations ultra-violettes.

1000. Persistance de l'action lumineuse. — Niepce de Saint-Victor [2] a constaté certaines actions de la lumière qui, d'après lui, seraient dues à l'emmagasinement des radiations lumineuses. Si l'on insole pendant un quart d'heure une gravure conservée préalablement à l'obscurité et que l'on vienne à l'appliquer sur une feuille de papier sensible, on obtient la reproduction en noir des blancs de la partie insolée; l'opération exige environ vingt-quatre heures. Cette faculté de reproduction se perd graduellement

1. *Phot. News*, 1880, p. 257.
2. *Comptes rendus*, 1858 et 1859.

dans l'obscurité. L'interposition d'une lame de verre, de mica, de cristal de roche, empêche l'action de la lumière emmagasinée. Une gravure enduite de gomme ou de vernis ne se reproduit pas; si elle est enduite de gélatine ou de collodion on peut obtenir une image.

Un étui en métal fermé d'un bout et tapissé à l'intérieur de carton blanc est exposé, l'ouverture en avant, aux rayons du soleil pendant une heure; on applique ensuite l'ouverture contre du papier sensible : au bout de vingt-quatre heures l'image de l'ouverture est reproduite sur le papier. Si l'on interpose entre le tube et le papier une gravure sur papier de Chine, on obtient une reproduction de la gravure. Le tube fermé hermétiquement peut conserver pendant longtemps la lumière emmagasinée. Ces expériences ont été variées de bien des manières : c'est ainsi qu'en appliquant sur le papier sensible une plaque de marbre noir et blanc, ou bien une plume noire et blanche préalablement insolées, les parties blanches s'impriment sur le papier.

Diverses substances phosphorescentes ou fluorescentes, telles que le sulfate de quinine, le phosphore, le nitrate d'urane, le citrate de fer, la peau animale, la porcelaine, etc., possèdent la propriété de condenser énergiquement la lumière. Ces substances, préalablement insolées, peuvent réduire la solution de nitrate d'argent. Ces phénomènes paraissent dus à une action chimique produite par les radiations obscures; ils expliquent pourquoi en enveloppant les plaques au gélatino-bromure dans du papier blanc on obtient souvent des images voilées. Si l'on se sert de papier imprimé, les caractères se reproduisent sur la plaque, et, comme l'a observé Laoureux [1], si l'on conserve des plaques ou des papiers au gélatino-bromure insolés et placés au contact ou à une petite distance de plaques n'ayant pas subi l'action de la lumière, on peut développer une faible image sur la plaque non insolée. Testelin avait observé le même fait en se servant de papiers préparés à l'iodure d'argent. Tous ces phénomènes se rattachent aux expériences de Niepce de Saint-Victor.

1001. De la solarisation. — On a constaté, dès le début du procédé du daguerréotype, qu'une plaque sensible exposée pendant trop longtemps à l'action de la lumière perdait la propriété de fixer les vapeurs de mercure ou de noircir par les agents révélateurs; on dit alors que l'image est *solarisée*. Ce phénomène se produit bien avant que toute image apparaisse par la seule action de la lumière non aidée d'un développateur. D'après Monckhoven [2], c'est là une preuve que l'action produite par la lumière est purement physique, car si c'était une action chimique, plus l'image serait visible par la seule action de la lumière et mieux le développateur devrait agir pour la rendre intense; en réalité, il n'en est rien. On attribue ce phénomène à l'action des rayons rouges qui détruisent l'effet des rayons chimiques.

Herschell [3], en 1839, constata que la lumière rouge possède une action

1. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1880, p. 152.
2. *Traité général de photographie*, 7e édit., p 27.
3. *Bibliothèque universelle de Genève*, nouvelle série, XXIII, p. 185.

spéciale sur le papier préparé. Fizeau et Foucault[1] ont nettement démontré l'action des rayons rouges. Dans ce but, ils ont exposé à la lumière d'une lampe une plaque daguerrienne recouverte d'une couche d'iodo-bromure d'argent; lorsque la couche fut régulièrement impressionnée, ils firent tomber sur elle un spectre solaire. Après le développement aux vapeurs mercurielles, le côté violet du spectre, depuis l'orangé jusqu'aux radiations ultra-violettes, avait donné une image et les vapeurs s'étaient fortement déposées sur la couche; du côté rouge, il n'y avait pas trace d'image. En prolongeant l'exposition, les rayons oranges et jaunes auraient fini également par détruire l'impression primitive causée par la lampe.

Draper[2] a étudié à diverses reprises le phénomène de la solarisation. Il a obtenu un effet de solarisation depuis la ligne G jusque dans l'ultra-rouge en exposant une plaque de daguerréotype à l'action simultanée du spectre et d'une faible lumière diffuse. Il a constaté que les raies de Fraunhofer apparaissaient en positives sur l'image[3]. Lerebours en 1846, Claudet[4] en 1847 s'étaient spécialement occupés de la solarisation sur plaques préparées par le procédé de Daguerre et signalée par Moser. Claudet[5] avait constaté que lorsque le temps d'exposition était fortement dépassé les vapeurs de mercure ne fournissaient pas d'image; si l'exposition à la lumière était prolongée plus longtemps encore, on développait une image négative au lieu d'une positive. La durée de l'insolation nécessaire pour produire ce *renversement* de l'image était variable suivant la nature des radiations.

Abney[6] a émis l'hypothèse que le renversement de l'image photographique pendant le développement était ordinairement dû à l'oxydation du sous-sel d'argent formé par la première impression lumineuse sur le sel d'argent soumis à l'exposition; cette oxydation est due à l'action de la lumière, les rayons de moindre réfrangibilité étant les plus puissants accélérateurs de l'oxydation. Le renversement d'une image peut être dû à la présence d'un chlorure, bromure ou iodure alcalin; dans ce cas, le renversement est partiellement dû à l'action de la lumière sur le composé haloïde et partiellement à la tendance d'oxydation du sous-sel d'argent. La présence d'un acide minéral tend puissamment à produire un renversement[7].

Waterhouse, Janssen et plusieurs autres savants ont étudié le renversement de l'image et ont montré que ces phénomènes se rapprochent de ceux que l'on constate dans la phosphorescence : les radiations rouges détruisent l'action produite par les bleues.

L'influence de la solarisation sur la reproduction photographique des objets colorés est considérable : les objets colorés en bleu, en violet, ceux d'une teinte neutre bleutée très claire se reproduisent aisément par la photographie; si la durée du temps de pose est trop prolongée, une partie de l'effet produit par les radiations émises par ces objets est détruit. Les objets

1. *Comptes rendus*, XXIII, p. 679.
2. *Philosophical Magazine*, novembre 1842.
3. *Phot. Correspondenz*, 1874, p. 68.
4. *Philosoph. Transact.*, 1847.
5. *Philosoph. Magaz.*, XXII, p. 199.
6. *London R. Soc. Procedings*, XXVII, pp. 291-451.
7. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1881, p. 106.

rouges et jaunes, au contraire, n'agissent que par la faible lumière blanche qu'ils réfléchissent; la solarisation ne se produit qu'après un temps fort long. En pratique, si l'on a à reproduire par la photographie ordinaire un objet offrant des couleurs actives à côté de couleurs inactives, on pourra dépasser fortement la durée exacte du temps de pose. L'action du rouge et du vert sera augmentée et celle du bleu et du violet diminuée par la solarisation. C'est à cet artifice que l'on avait recours autrefois lorsque l'on ne connaissait pas les plaques orthochromatiques; mais jamais l'effet obtenu n'est aussi correct que par l'emploi des plaques orthochromatiques.

H. Vogel[1] a montré que l'action graphique de la lumière atteint son maximum dans un temps donné qui varie avec l'intensité de la lumière, et, à partir de ce maximum, elle va en décroissant; c'est ce qu'il a appelé le maximum photographique. L'iodure et le bromure d'argent suivent une marche parallèle dans ces modifications, c'est-à-dire que leurs propriétés photographiques croissent ou décroissent dans les mêmes proportions pendant des intervalles de temps égaux. Vogel a conclu de là que le maximum photographique de ces deux corps est atteint dans le même temps, toutes circonstances égales d'ailleurs.

L'action des rayons rouges est toute spéciale sur les plaques préparées à l'iodure d'argent par la méthode de Daguerre. Si au sortir de la chambre noire on expose sous un verre rouge rubis une plaque portant l'image latente, on constate au bout de quelques minutes que cette image devient visible par la décomposition de l'iodure d'argent; si l'on prolonge l'exposition, l'effet de la lumière se trouve détruit, et la plaque, non seulement ne peut plus fixer la vapeur mercurielle, mais se trouve apte à fournir une nouvelle épreuve.

Les radiations jaunes donnent lieu à des phénomènes semblables aux précédents. On expose à la lumière sous un négatif un papier préparé au chlorure d'argent, on arrête l'action de la lumière au moment où l'image se dessine dans toutes ses parties, puis on la place sous un verre jaune et l'on expose à la lumière : l'image se développe de plus en plus aux endroits qui s'étaient teintés, les blancs correspondants aux noirs du négatif restant blancs. On admet dans ce cas que la première action de la lumière donne un sous-chlorure d'argent, qui est beaucoup plus sensible aux rayons rouge et jaune que le chlorure normal.

1002. Appareils permettant d'étudier l'action photographique des diverses radiations. — H. Vogel[2] a montré, en 1873, qu'on pouvait rendre le bromure d'argent sensible à l'action de n'importe quelle couleur, ou d'augmenter la sensibilité qu'il possède déjà à l'égard de certaines radiations : il suffit de l'additionner d'une matière qui favorise la décomposition du bromure d'argent et qui absorbe la couleur à laquelle on veut le rendre sensible, sans agir sur les autres; c'est là le moyen pratique de remédier à l'inactivité photographique de certaines couleurs parfois très gênantes.

Pour étudier l'action des diverses radiations sur les plaques préparées, on peut se servir de spectroscopes ordinaires à vision directe, ou bien du

1. *Bulletin belge de la photographie*, 1865, p. 40.
2. *Phot. Mittheilungen*, IX, p. 236.

spectrographe disposé spécialement pour cet objet par H. Vogel. Il se compose essentiellement d'un spectroscope à deux prismes (*fig. 696*); l'arête réfringente de ces prismes est placée horizontalement; une disposition spéciale permet de diriger facilement le collimateur vers le soleil ou toute autre source lumineuse : on évite ainsi la perte de lumière par réflexion que l'on subirait si l'on employait un héliostat.

Les deux prismes de flint se trouvent placés dans un tambour métallique *d*, qui porte d'une part le collimateur métallique avec sa fente *a*, et d'autre part une chambre noire photographique dont l'objectif est un aplanat de Steinheil placé dans sa monture *e*. Le châssis se place en L; l'arrière de

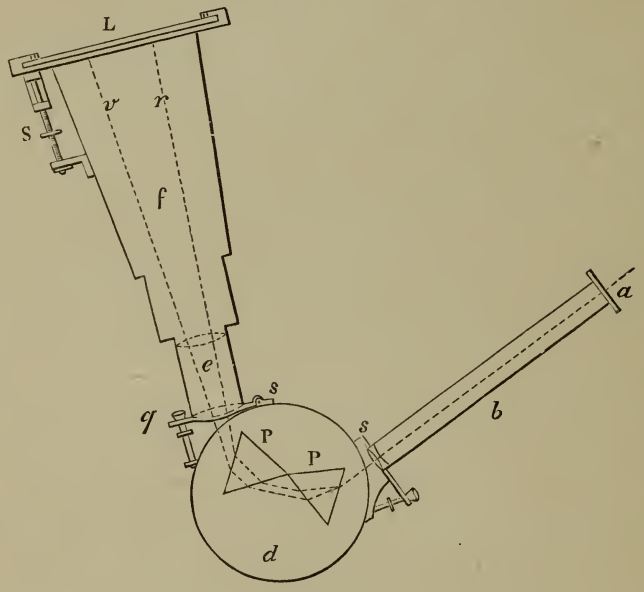


Fig. 696.

la chambre noire est *à bascule* mobile à l'aide d'une vis S; on peut donc incliner le plan de l'image dans divers sens par rapport aux rayons incidents, et il est possible de mettre nettement au point les diverses parties du spectre dont le foyer est inégalement éloigné de l'objectif. Pour de courtes expositions au spectre solaire, il suffit de diriger exactement le collimateur dans la direction des rayons solaires; le soleil reste alors une minute au moins dans le champ de l'instrument. Si l'exposition doit être de plus longue durée, on maintient l'appareil dans une direction fixe à l'aide d'un système de vis sans fin. On met l'instrument au point de la manière suivante : la chambre noire et son objectif sont séparés de l'appareil, on met au point sur un objet éloigné, on marque la position de l'objectif pour cette mise au point et l'on remet la chambre noire sur l'appareil, on dirige ensuite le spectrographe vers le soleil et on déplace la fente jusqu'à ce que le groupe de raies que l'on veut photographier apparaisse avec une netteté

suffisante sur la glace; on fait alors une série de négatifs en allongeant ou diminuant la distance de la fente à la lentille du collimateur, on développe et l'on choisit la position qui donne le maximum de netteté. Steinheil[1] a construit un spectrographe analogue à celui de Vogel et contenant une échelle que l'on peut photographier avec le spectre.

Pour les recherches photographiques ordinaires, on peut se servir du spectrographe de Vogel : c'est un spectroscope à vision directe monté sur une petite chambre noire dont la partie antérieure est constituée par un rideau mobile R (*fig. 697*) qui se déplace dans la coulisse *nn'*, et porte en son milieu une planchette *b* dans laquelle on visse le spectroscope; l'axe de cet appareil est à 0m02 au-dessous de celui de la chambre. La fente du spectroscope est placée horizontalement; grâce au rideau, on peut photogra-

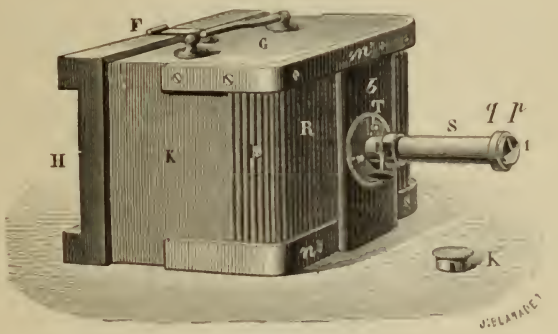


Fig. 697.

phier cinq spectres verticaux sur le format 9 × 12. La fente du spectroscope est cunéiforme : on obtient ainsi un spectre dont les raies sont d'un côté floues, mais lumineuses; de l'autre nettes, mais peu brillantes. Dans la photographie ces raies s'étendent d'autant plus vers le côté obscur que la partie correspondante du spectre est plus claire ou que la substance essayée est plus vivement impressionnée par les rayons auxquels elle est exposée. On peut donc, d'après la longueur des raies, apprécier d'une part la clarté du spectre que l'on étudie, et d'autre part la sensibilité de la substance.

Ce spectroscope s'emploie sans objectif, la lentille du collimateur en tient lieu (*fig. 698*). Quand on dirige l'appareil vers une source de lumière monochromatique, en éloignant suffisamment la fente de la lentille, on obtient sur la glace dépolie une image objective de la fente; quand on dirige l'appareil vers le soleil, on obtient une série d'images de la fente, c'est-à-dire un spectre réel. La profondeur de foyer de cet instrument est très considérable pour le peu de largeur des faisceaux des rayons dont il s'agit; en allongeant la longueur du tirage de la chambre noire, on ne modifie pas essentiellement la netteté; la mise au point s'effectue en éloignant ou rapprochant de la chambre noire le tube qui porte la fente. Pour se servir de cet instrument on le tient par la poignée et on le dirige vers le soleil, de ma-

1. *Ber. der. Wiener Akad.*, t. XC, p. 1104.

nière que le tube du spectroscope ne projette pas d'ombre ou projette une ombre concentrique à celle de la rondelle qui sert à le visser à la chambre.

Le système de prismes de cet appareil absorbe énergiquement le violet. Pour étudier cette région et la partie ultra-violette on se servira de prismes de spath ou de prismes de quartz.

Pour examiner les diverses matières colorantes et pour reconnaître *a priori* l'effet que produira une addition de matière colorante, on peut se contenter d'examiner le spectre que donne la substance, sans qu'il soit nécessaire de photographier. On dissout la matière dans l'alcool et l'on étend la solution peu à peu jusqu'à ce que le liquide devienne suffisamment transparent pour que les bandes d'absorption soient visibles. Pour effectuer rapidement cet examen nous ne connaissons pas d'appareil plus pratique, plus commode et

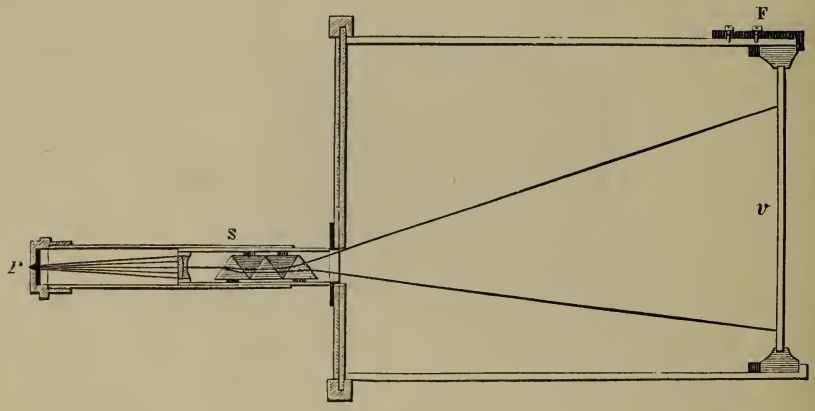


Fig. 698.

moins encombrant que le support universel de Vogel. Sur une tige verticale C (*fig. 699*) se démontant en plusieurs parties peuvent glisser plusieurs coulants H, H′, H″... servent à maintenir à l'aide de pinces le spectroscope S (et un disque de carton noir T, destiné à préserver l'observateur d'une lumière trop vive), les tubes R′ et R″ renfermant les matières colorantes à examiner, un miroir Q qui renvoie sur l'un des tubes la lumière du ciel, tandis que l'autre tube est traversé directement par cette lumière, le spectroscope étant dirigé vers le bleu du ciel. Lorsqu'il s'agit d'examiner des solutions faiblement colorées, on enveloppe les tubes à essai d'une feuille de papier noir, on place le spectroscope au-dessus du tube R′, et, à l'aide d'un miroir *g*, on renvoie la lumière dans l'axe du tube. Le spectroscope et ses accessoires peuvent se loger dans un tiroir K, ce qui permet d'emporter facilement l'appareil en voyage. Le même instrument peut servir pour l'analyse chimique des flammes, etc.

Vogel a constaté que l'action des matières colorantes est, pour une même combinaison de l'argent avec le même haloïde, extraordinairement différente selon la nature de la préparation des plaques.

1003. Actions diverses de la lumière colorée. — Eder a montré qu'il n'était pas possible d'énoncer d'une manière précise le mode d'action des

diverses radiations. Cependant, toutes les radiations de l'ultra-violet à l'ultra-rouge, ainsi que les radiations ultra-rouges et ultra-violettes, peuvent exercer une action chimique. Les radiations ayant une action chimique sur un corps doivent aussi être absorbées par ce corps; l'action chimique de la lumière et l'absorption optique se tiennent intimement. Chaque espèce de lumière peut agir par voie d'oxydation ou bien de réduction, suivant la nature du corps sensible à la lumière.

Quoique l'action oxydante des rayons rouges et l'action réductrice des rayons violets ne soit pas nettement séparée, on peut quand même dire

Fig. 699.

en général que la lumière rouge agit d'ordinaire par oxydation sur les combinaisons métalliques et la lumière violette par réduction. On constate que dans tous les cas l'action chimique de la lumière colorée est soumise à la loi suivante : les rayons ayant l'action la plus énergique sont aussi ceux qui sont le plus vivement absorbés par les substances sensibles à la lumière. Non seulement l'absorption des rayons lumineux par les corps éclairés eux-mêmes, mais aussi l'absorption de la lumière par les substances mélangées joue un rôle considérable dans l'action chimique de la lumière. La sensibilité à la lumière des premiers se trouve fortement augmentée pour les rayons lumineux que les derniers absorbent : ces corps sont des *sensibilisateurs optiques*.

Une substance mélangée au corps sensible à la lumière et qui peut se combiner chimiquement à la matière constitutive éliminée sous l'influence des vibrations lumineuses (oxygène, iode, brome) favorise la décomposition à la lumière; on donne à ces corps le nom de *sensibilisateurs chimiques*.

La manière dont agissent les radiations colorées sur les combinaisons employées en photographie varie avec la pureté de ces substances, leur état moléculaire et la nature du développement; enfin, l'activité du spectre solaire varie considérablement avec l'état de l'atmosphère, de telle sorte que pour un même état du soleil et un ciel d'apparence pure l'effet chimique se trouve rarement être le même; c'est pour ce motif qu'il est à peu près impossible de donner des chiffres absolus relativement à l'action chimique des couleurs du spectre[1].

Lermantoff[2] a cherché à démontrer que l'hypothèse de l'échauffement moléculaire était suffisante pour expliquer la plupart des effets produits par la lumière sur les corps. Les diverses radiations du spectre diffèrent par leur longueur d'onde; elles ne diffèrent donc que quantitativement, et leur mode d'action sur les corps est probablement le même. Les rayons calorifiques obscurs produisent un échauffement sensible du corps entier. On peut admettre que chaque molécule superficielle qui reçoit la force vive d'un rayon s'échauffe beaucoup plus que le reste du corps et communique l'excès de chaleur aux molécules voisines par conductibilité. Les rayons lumineux et ultra-violets produisent un effet analogue; mais le mode de mouvement qu'ils communiquent aux molécules doit se distinguer par une vitesse plus considérable, qui peut atteindre par moments celle de la source lumineuse elle-même. L'incandescence des molécules superficielles, sous l'influence des rayons les plus réfrangibles émanant d'une source à haute température, doit persister pendant un temps fini après la cessation de l'action de la lumière. On peut expliquer ainsi la phosphorescence de courte durée observée par Becquerel dans presque tous les corps solides; la fluorescence s'explique aussi par cette hypothèse, en admettant que c'est une phosphorescence de courte durée, assez intense pour être vue pendant l'action de la lumière. En général, une élévation de température modérée favorise les réactions de combinaison; c'est ainsi que beaucoup de chlorures et d'oxalates métalliques en dissolution dans l'alcool ou dans l'éther sont plus ou moins réduits à la température de l'ébullition, et parmi eux, en première ligne, les sels organiques d'argent. Le sulfate ferreux s'oxyde aussi bien par la lumière rouge que par l'action de la chaleur; les matières colorantes blanchissent non seulement par l'air et la lumière, mais aussi par la chaleur. Une température de 150 à 200° provoque la combinaison du chlore et de l'hydrogène; mais il faut reconnaître que dans bien des cas une température élevée ne peut nullement remplacer la lumière; c'est ainsi que le chlorure, le bromure et l'iodure d'argent ne se décomposent même pas au rouge. Il n'est donc pas absolument exact de dire qu'il y a accord entre l'action de la lumière et celui de la chaleur.

L'action de la lumière en photographie est quelquefois distincte de l'ac-

1. Éder, *Des actions chimiques de la lumière colorée et de la photographie en couleurs naturelles*, p. 93.

2. *Société physique de Pétersbourg*, 1879, § 3-11, 31-43.

tion chimique; parfois, pour révéler une image, le produit doit être changé en un autre de coloration plus marquée, ou bien la matière non modifiée par la lumière doit être éliminée par les lavages. Les images aux sels d'argent ne deviennent visibles que par accumulation des molécules d'argent aux points où la lumière a produit son effet. L'action des révélateurs acides (**998**) peut s'expliquer par une action galvanoplastique des couples locaux [1]. L'action du révélateur alcalin est analogue à la précédente, mais les cristaux de bromure d'argent se transforment en particules pseudomorphiques d'argent métallique sans changer de forme et de dimensions. Il est probable que le bromure d'argent solide fait partie des couples moléculaires qui produisent l'image. Le bromure d'argent offre, il est vrai, une résistance spécifique considérable, mais la résistance interne d'un élément de pile variant proportionnellement aux éléments homologues, tandis que le nombre n de couples formés par une quantité déterminée de matière est en raison inverse du cube de ses dimensions, on voit qu'en supposant le nombre de couples moléculaires assez grand le travail chimique de l'ensemble des couples pourra être très considérable.

1004. Action de la lumière sur les sels d'argent. — Il faut tenir grand compte dans ces essais des nombreuses modifications que peuvent présenter les divers sels d'argent. C'est ainsi que pour le bromure d'argent la manière dont ce bromure est réparti dans le collodion ou la gélatine a une très grande influence. Le bromure précipité dans l'alcool et lavé avec de l'alcool ne se distribue pas dans la solution de gélatine, mais celui qui a été précipité par l'eau s'y répand au contraire très facilement. Le bromure d'argent sensible pour les rayons bleus est bien plus difficilement réductible à l'état métallique que le bromure d'argent sensible pour les rayons indigo; en outre, l'action des sensibilisateurs optiques et des sensibilisateurs chimiques est différente pour les plaques préparées au collodio-bromure et pour celles préparées au gélatino-bromure : cet effet peut provenir d'actions secondaires sur la couche de gélatine. Les divers développateurs photographiques agissent enfin d'une manière très différente sur ces divers bromures; après avoir été impressionné, le bromure d'argent, sensible pour le bleu, est bien plus sensible en présence du révélateur alcalin qu'en présence du révélateur acide [2].

Warnerke a émis l'hypothèse que l'image se développe par suite du dépôt de cristaux microscopiques d'argent métallique sous l'action réductrice de l'acide pyrogallique. Le bromure d'argent du révélateur dissout le bromure d'argent de la couche sensible et introduit ainsi l'argent au sein du liquide; on pourrait donc remplacer le bromure de potassium par le chlorhydrate d'ammoniaque, le cyanure de potassium, l'hyposulfite de soude. Ces substances ont été essayées avec succès par M. Warnerke.

Les divers sels d'argent ne sont pas sensibles aux mêmes radiations lumineuses, et le bromure d'argent en particulier est bien plus sensible aux rayons verts et rouges; d'ailleurs, suivant les conditions de l'expérience, le maximum de l'action lumineuse est variable sur le même sel. Ainsi, pour les

1. *Journal de physique*, 1877, t. VI, p. 376.
2. Vogel, *La photographie des objets colorés*, p. 115.

plaques du daguerréotype à l'iodure d'argent, pour une exposition suffisante le maximum est dans le violet et s'étend d'une part jusqu'au bleu, d'autre part assez loin dans le spectre ultra-violet. L'extrême rouge a une action très faible; l'orange, le jaune et le vert sont inactifs. Sur le papier à l'iodure d'argent, les rayons violets sont les plus actifs et l'action décroît jusque dans le vert.

Pour les couches préparées à l'aide du collodion à l'iodure, avec développement à l'aide pyrogallique ou au sulfate de fer, le rouge a peu ou pas d'action; le jaune et le vert n'en ont pas du tout. Le bleu et le violet sont très actifs. Par une exposition prolongée, l'iodure se solarise dans ces régions sans que le reste s'impressionne davantage. Le maximum d'action est dans l'indigo à la limite du violet. Dans les couches préparées au collodion sec, l'iodure d'argent est légèrement sensible aux couches préparées au jaune et au rouge.

Les plaques daguerréotypiques préparées au bromure d'argent sont bien plus sensibles au vert que celles à l'iodure. Le bromure d'argent exposé directement à la lumière noircit par tous les rayons avec le maximum vers G. Le bromure d'argent dans le collodion humide est sensible jusqu'à la raie E, et par une longue exposition on peut arriver à photographier tout le spectre. Dans l'émulsion avec développement alcalin nous avons vu que le bromure est d'une sensibilité variable suivant le mode de préparation; le maximum reste toujours vers la raie G.

On employait autrefois dans les procédés du collodion humide un mélange de bromures et d'iodures : ce mélange est sensible aux rayons verts et donne des gradations de teinte mieux ménagées que celles fournies par l'iodure seul.

Le chlorure d'argent pur présente le maximum d'action dans le bleu, avec action dans le violet et l'ultra-violet; le rouge, le jaune et le vert sont inactifs ; en présence d'un excès de nitrate d'argent, le maximum pour le chlorure est entre G et H, et l'action se termine vers F. Le collodion sec au chlorure d'argent est sensible à toutes les radiations, même au rouge extrême, si l'on prolonge suffisamment l'exposition. Les plaques préparées au gélatino-chlorure d'argent, développées au citrate ferreux ammoniacal ou à l'hydroquinone, ont leur maximum de sensibilité entre F et G; la sensibilité pour les rayons rouge et jaune dépend du mode de préparation.

Nous avons vu que la sensibilité des plaques photographiques peut être augmentée pour une région déterminée du spectre en ajoutant au sel d'argent un composé susceptible d'absorber cette radiation, et en même temps de fixer l'iode ou le brome mis en liberté. Les matières colorantes dérivées du goudron de la houille réunissant ces deux conditions ont été et sont encore employées pour la préparation des plaques orthochromatiques (**470**).

Les matières colorantes les plus employées pour la préparation des plaques orthochromatiques sont l'éosine, le rose du Bengale, la cyanine, la fuchsine, la coralline, la safranine, le violet de méthyle, le picrate vert de méthyle, le vert malachite, la chlorophylle et le bleu d'aniline. La figure 700 indique, d'après Vogel, le spectre d'absorption de ces diverses matières colorantes en solution alcoolique. Ces courbes sont, suivant l'usage, rapportées à une ligne horizontale divisée selon les raies du spectre solaire; ces courbes s'élèvent d'autant plus haut que l'absorption a été plus intense au point considéré.

Messerschmitt[1] avait cherché à déterminer le spectre d'absorption de diverses substances et la portion du spectre pour laquelle le sensibilisateur est le plus actif. Il a trouvé que certains sensibilisateurs tels que le curcuma donnent une absorption progressivement croissante du violet vers le rouge; l'action sensibilisatrice paraît uniforme. D'autres absorbent les radiations à partir du violet d'une manière uniforme et présentent un maximum de sensibilité dans le jaune. Dans les cas les plus fréquents on observe une

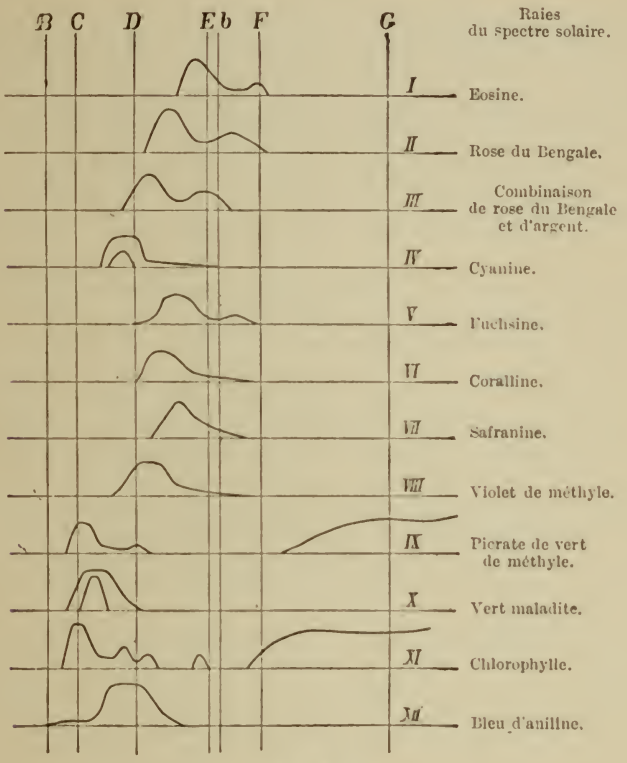


Fig. 700.

bande d'absorption dans le spectre et un maximum de sensibilité correspondant; on ne peut démontrer qu'il y a coïncidence entre la bande d'absorption et le lieu du maximum de sensibilité. On a reconnu que la bande d'absorption n'occupe pas une position invariable dans le spectre; elle se déplace vers le rouge quand on augmente la densité du milieu auquel on a ajouté la matière colorante. On peut admettre que le bromure d'argent déplace la bande jusqu'à la faire coïncider avec le lieu du maximum de sensibilité. Messerschmitt a conclu de ses expériences que la relation entre

1. *Journal de Physique*, (2) IV, p. 518.

l'absorption de la lumière par un milieu et l'action dissociante sur les sels d'argent ne pouvait être considérée comme suffisamment établie; cependant les expériences de Vogel, celles d'Eder, d'Abney, de Waterhouse montrent que cette relation existe.

§ 4. — IMAGES OBTENUES PAR DIVERS PROCÉDÉS.

1005. Phosphorographie. — On a désigné sous le nom de phosphorographie les divers moyens qui permettent d'obtenir des images phosphorescentes. Daguerre avait essayé de produire de telles images par l'action de la lumière sur le sulfure de calcium, mais n'avait pas obtenu de bons résultats[1]. On peut cependant obtenir des images lumineuses en employant le procédé aux poudres. Sur une couche préparée à la gomme, sucre et bichromate de potasse, on développe une image à l'aide de la poudre de sulfure de calcium; l'image ainsi obtenue est exposée à la lumière : elle est lumineuse dans l'obscurité[2]. Un autre procédé consiste à rendre transparente, au moyen d'huile de ricin, une photocopie sur papier (imprimée soit sur albumine, soit par photocollographie); on passe à l'envers de cette épreuve une couleur phosphorescente, on expose à la lumière : la couleur n'est visible qu'à travers les blancs de l'image.

On a essayé d'employer pour obtenir des photographies la lumière émise par une plaque phosphorescente. Daguerre avait essayé l'action de la lumière phosphorescente sur les plaques préparées à l'iodure d'argent, et avait constaté, par le développement à l'aide des vapeurs de mercure, que la plaque avait été impressionnée. Becquerel reconnut plus tard que certaines substances phosphorescentes préalablement insolées peuvent noircir le papier sensible. A. Vogel constata, en 1863, que les lueurs émises par le phosphore peuvent agir sur une plaque préparée au collodion humide; il observa que le sulfure de calcium préalablement insolé peut noircir le papier photographique[3].

Schnauss obtint des photocopies au collodion humide par l'emploi de la lumière phosphorescente; mais c'est Warnerke et Darwin[4] qui ont les premiers indiqué des procédés précis permettant d'employer la lumière émise par une plaque phosphorescente. Une plaque de verre est recouverte d'une couche de sulfure de calcium; l'opération a lieu dans l'obscurité; on expose la plaque dans la chambre noire, on met ensuite cette plaque rendue lumineuse en contact avec une plaque sensible : on peut alors développer sur celle-ci une image très douce et renversée produite par la plaque phosphorescente. L'exposition à la chambre noire doit durer assez longtemps, par exemple une minute, et le contact avec la plaque préparée au gélatino-bromure doit être prolongée pendant au moins cinq minutes, en ayant soin d'opérer à une lumière rouge aussi faible que possible, ou mieux dans l'obscurité, car les radiations rouges détruisent rapidement la phosphorescence.

1. *Comptes rendus*, 1839, vol. VIII, p. 243.
2. *British Journal of Photography*, 17 avril 1868.
3. *Fortschritte d. Physik*, 1863, p. 264.
4. *Phot. News*, 1880, pp. 257 et 258.

Darwin[1] a employé les plaques phosphorescentes à la multiplication des négatifs; dans ce but, il expose au soleil, pendant trois à quatre secondes, une plaque phosphorescente, il la recouvre d'un négatif et d'un verre rouge, puis expose de nouveau au soleil pendant une minute et demie. La plaque, portée dans l'obscurité, présente une image négative; on la met au contact d'une plaque sèche pendant trente secondes et l'on développe une image négative. Les plaques phosphorescentes sont assez sensibles à l'action de la lumière du gaz, comme l'a observé Baden Pritchard[2].

Draper[3] a l'un des premiers proposé de projeter une image quelconque sur une plaque phosphorescente. En appliquant une glace sensible au contact de cette plaque on obtient la reproduction de l'image phosphorescente. Si on applique la plaque phosphorescente à la photographie du spectre, dans l'ultra-rouge, au lieu des raies α, β, γ, on voit les raies séparées. Draper a conseillé l'emploi du sulfure de calcium à phosphorescence violette.

Zenger a proposé d'appliquer la phosphorographie à la construction de la carte céleste; le sensitomètre Warnerke est basé sur l'emploi d'une source phosphorescente.

1006. Images de Moser; thermographie. — Moser[4] a montré que lorsqu'un corps a été touché par un autre les vapeurs peuvent rendre le point de contact visible; par exemple, si une lame de verre est exposée à l'action des rayons solaires derrière un papier découpé, l'haleine projetée sur cette lame rend l'action visible. Une lame d'argent poli donne le même résultat. Mais si aux vapeurs aqueuses de l'haleine on substitue celles du mercure, l'exposition aux rayons solaires peut être considérablement diminuée. Une médaille de cuivre légèrement chauffée est placée sur une lame d'argent poli, l'haleine et les vapeurs mercurielles rendent l'image sensible, même si l'expérience est faite dans l'obscurité; si cette médaille est abandonnée pendant un temps très long sur la lame d'argent poli, l'image formée par l'haleine ou le mercure se solarise; il peut même y avoir renversement de l'image, exactement comme lorsque la lumière agit pendant très longtemps sur le bromure d'argent.

Moser comparait cette action à celle de la lumière sur les plaques du daguerréotype, dans lesquelles l'image invisible après l'insolation peut être révélée par la vapeur d'eau comme par celle de mercure. Waidels a montré, en 1843, que ces phénomènes étaient dus aux modifications de la couche gazeuse condensée qui enveloppe les corps.

Niepce de Saint-Victor[5] a observé que si sur une plaque de métal chauffée au contact de l'eau bouillante on place d'abord une gravure ou des caractères imprimés à l'encre grasse, puis une feuille de papier imprégnée préalablement d'azotate d'argent et ensuite de chlorure d'or, on obtient une image bleue violacée des noirs de la gravure ou des lettres imprimées[6]. Si

1. *Phot. News*, 1880, p. 262.
2. *Ibid.*, 1879, p. 102.
3. *Amer. Journ.*, XXI, 1881, p. 171.
4. *Pogg. Ann.*, LVI, p. 177.
5. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1859, p. 177.
6. *Phot. News*, 18 février 1859.

le papier n'est imprégné que d'azotate d'argent, ce sont les blancs de la gravure qui se reproduisent en couleur bistre. Avec le papier préparé au sel d'argent et d'or et sur la plaque chauffée à l'eau bouillante, de gros caractères d'imprimerie se reproduisent à une distance de plusieurs millimètres; mais l'image ne se reproduit plus si l'on interpose une lame tout à fait continue, fût-elle très mince, de mica, de métal ou même une feuille de papier végétal. Les dessins formés avec de l'encre aqueuse, de la mine de plomb ou du charbon de bois ne se reproduisent pas s'ils sont tracés sur du papier ordinaire, mais ils se reproduisent quand ils le sont sur du papier végétal. Des plaques et des assiettes de porcelaine vernissées portant des lettres noires ou des peintures de diverses couleurs faites à la main et passées au feu, sans être recouvertes d'émail, ont donné des impressions ; mais les lettres et les dessins recouverts d'émail ne se sont pas reproduits. Les pièces de monnaie et les camées se reproduisent très bien, même à un millimètre de distance et malgré l'interposition d'une lame continue très mince de mica, d'argent ou de cuivre, pourvu que la pression soit assez forte et la température assez élevée.

Gaultier de Claubry [1] a reconnu qu'il suffit d'exposer à une température de 100°, dans une étuve, une feuille couverte de caractères d'imprimerie ou d'écriture pour qu'en la couvrant ensuite d'une feuille de papier sensible on obtienne une image qui ne se développe que dans les conditions habituelles de la photographie. Ce procédé de reproduction a l'avantage de n'exposer le livre ou le manuscrit à aucune chance d'altération.

Ces diverses expériences sont analogues à celles qui avaient été faites par Hunt et Knor [2].

1007. Electrographie. — Karsten a constaté, en 1842, que lorsque l'on place une médaille sur une glace préparée l'étincelle électrique permet d'obtenir une image de cette médaille.

Volpicelli [3] a placé en contact avec une plaque daguerrienne un disque de cire à cacheter électrisé et sur lequel il avait pris l'impression d'une médaille; après vingt-quatre heures de contact, la plaque métallique avait acquis la propriété de condenser les vapeurs de mercure, les parties correspondant aux portions les plus creuses de la cire causant la condensation la plus grande. La même expérience fut recommencée avec une plaque daguerrienne iodurée; après quarante-huit heures de contact, il trouva, en soumettant la plaque aux vapeurs du mercure et lavant ensuite dans l'hyposulfite de soude, qu'une image s'était produite sur la plaque, l'argent s'étant amalgamé plus fortement dans les parties situées en face des creux de la médaille. Volpicelli a constaté pareillement que des disques de soufre ou de résine électrisés par friction et placés pendant un certain temps sur une feuille mince de verre communiquent à celui-ci la propriété de pouvoir condenser les vapeurs de mercure qui reproduisent l'image du disque.

Grove a obtenu, en 1857, des images de lettres placées sur un papier sensible à l'aide de l'étincelle électrique. Ces expériences ont été refaites en

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1859, p. 192.
2. *Pogg. Ann.*, 58, p. 563.
3. *Atti dell' Academia di Nuovi Lincei*, 1857.

1886 par Boudet de Paris. Tomassi a fait connaître, sous le nom d'*effluvographie*[1], un procédé permettant d'obtenir par le seul effet de la décharge obscure les effets que l'on réalise par l'emploi de la lumière en photographie. Deux brosses métalliques, disposées parallèlement en regard l'une de l'autre, sont reliées chacune à un pôle de la machine de Holtz ; une plaque préparée au gélatino-bromure est placée perpendiculairement aux brosses, de telle sorte que le plan de la face sensibilisée contienne les bords de ces brosses ou en soit très voisin dans les deux sens; le courant établi, une pose de quelques minutes dans l'obscurité est suffisante; il ne reste plus alors qu'à développer et à fixer par les procédés ordinaires l'image obtenue.

L'action du courant électrique pendant le développement ou l'exposition a été étudiée par Daguerre[2], Roggerson[3], Boll[4], Dumas[5], Roloff et Beisgen[6] ; ces diverses études n'ont fourni aucun résultat pratique.

§ 5. — DE L'IRRADIATION PHOTOGRAPHIQUE.

1003. Phénomène de l'irradiation. — Il arrive quelquefois que l'action photographique est étendue aux parties de la couche sensible qui n'ont pas été impressionnées; on observe fréquemment ce phénomène quand l'objet à photographier présente des contrastes très violents, c'est-à-dire s'il

Fig. 701.

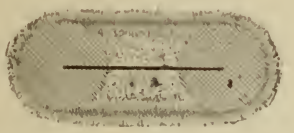


Fig. 702.

Fig. 703.

est composé de parties très claires confinant à des parties très sombres. La ligne de séparation des parties claires et des parties sombres sur le négatif manque de netteté; elle est légèrement estompée par suite de l'envahissement des parties noires sur les parties transparentes. C'est ce phénomène qui constitue l'*irradiation photographique* ; on l'appelle quelquefois *auréole*, *halo* (*halation* en allemand, *blaring*, *nubation* en anglais).

La pratique a montré que ce phénomène est plus ou moins manifeste suivant la composition des couches sensibles, la nature et l'épaisseur de leur

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1886, pp. 62, 120.
2. *France industrielle*, 1841.
3. *Horn's Phot. Journ* , 1858, p. 95.
4. *Phot. Mittheilungen*, 1878, p. 209.
5. *Bulletin de la Société française de photographie*, janvier 1875.
6. *Phot. Mittheilungen*, 1879, p. 303.

support, la durée de la pose, etc. L'irradiation a été observée dès que l'on a employé les couches sensibles préparées au collodion sec. L'image négative d'un point lumineux surexposé présente à sa partie centrale une auréole qui se dégrade rapidement (*fig. 701*); puis, à une certaine distance, on trouve un anneau foncé s'estompant à l'extérieur et très légèrement vers son centre. L'image d'une droite étant composée d'une rangée de points sera entourée d'un halo, comme l'indique la figure 702; l'image irradiée de deux droites qui se coupent à angle droit aura l'apparence représentée par la figure 703.

Le phénomène de l'irradiation photographique dépend de diverses causes : l'action chimique de la lumière peut se propager de proche en proche. Lorsqu'on développe une plaque avec un révélateur physique, l'argent libre qui se précipite sur toute la surface de la plaque, et qui ne devrait se fixer que sur les parties frappées par la lumière, peut aussi, par un phénomène d'at-

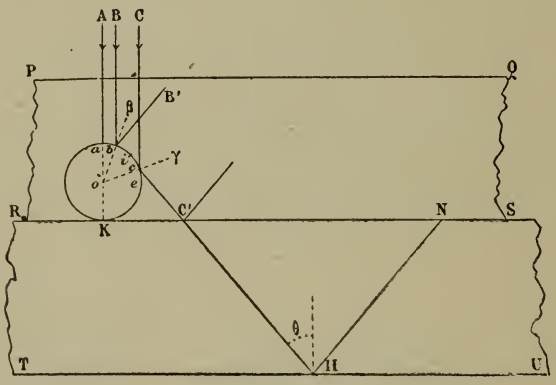


Fig. 704.

traction, se porter sur les molécules d'argent voisines des parties impressionnées et étendre ainsi l'action photographique. Si les instruments d'optique qui servent à former l'image lumineuse ne sont pas convenablement achromatisés, les rayons actiniques émis par un point ne se réuniront pas en un point unique. Un défaut de correction des aberrations de sphéricité peut produire le même effet. Ces diverses causes suffisent pour expliquer les particularités que présente le phénomène de l'irradiation sur des surfaces autres que le verre. Dès le début de l'observation de ce phénomène sur les glaces au collodion sec on avait attribué l'irradiation à la réflexion que subissent les rayons lumineux à la face postérieure du verre [1]. C'est le capitaine Abney [2] qui a donné le premier une théorie complète de l'irradiation. Davanne [3], et plus récemment Cornu [4], ont confirmé de tous points la théorie donnée par Abney. On peut résumer cette théorie de la manière sui-

1. *Bulletin belge de la photographie*, 1865, p. 92.
2. *Philosophical Magazine*, 1875.
3. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1879.
4. *Comptes rendus*, 1890.

vante : soit RSTU (*fig. 704*) la plaque de verre, *o* un grain de bromure d'argent dans la couche sensible PQRS, grain qui est en contact avec la plaque de verre; soient A, B, C les rayons lumineux dont la direction est normale à la surface de verre. A est réfléchi suivant sa direction, B en B′, et le rayon *b* B′ impressionne les molécules de bromure d'argent qu'il rencontre. Quant au rayon C il se réfléchit en *c* C′ : une partie de ce rayon se réfléchit et impressionne la couche, une autre partie est réfractée dans la plaque de verre. En admettant que l'indice de réfraction de la substance sensible soit le même que celui du verre, le rayon se propagera suivant la droite *c* C′H. En H une partie du rayon est réfléchie, une autre partie est transmise, et le rayon HN vient impressionner la couche sensible en N. La quantité de lumière réfléchie est maxima lorsque θ est égal à l'angle limite. On voit donc que la couche sensible reçoit par réflexion une quantité de lumière qui, faible dans le voisinage du point d'incidence du faisceau ABC, va en augmentant jusqu'à un certain point, puis décroît graduellement. Il en résultera que la trace laissée par le faisceau incident sur le négatif sera entourée à une certaine distance d'un anneau foncé se dégradant vers son centre et à l'extérieur. Supposons que θ soit égal à l'angle limite *l*, N est un point de l'anneau d'irradiation de rayon NK; mais le grain *o* étant très petit, on a sensiblement NK = NC′ ; soit *e* l'épaisseur de la plaque de verre, on aura pour la valeur du rayon de l'anneau d'irradiation

$$NC' = 2\,e \text{ tang } l.$$

On peut vérifier ces résultats par des mesures directes [1].

Si la couche sensible est très transparente, la quantité de lumière qu'elle diffuse est très faible et, par suite, l'irradiation est peu appréciable; c'est ce

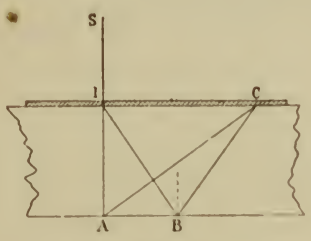


Fig. 705.

qui a lieu avec les plaques préparées à l'albumine. Si la couche sensible est translucide et d'une couleur peu actinique, comme les couches au collodion humide, l'irradiation sera peu marquée; elle le sera, au contraire, fortement avec les plaques au gélatino-bromure qui diffusent fortement la lumière.

Il est à remarquer que si les rayons lumineux tombent obliquement sur la couche sensible, la réflexion à la face postérieure du verre renvoie ces rayons sur des parties de la couche qui n'ont pas été frappées directement : cette théorie indique donc que l'irradiation doit être plus marquée sur les bords

1. De La Baume-Pluvinel, *Le temps de pose*, p. 100.

de la plaque qu'au centre du champ. Si la face postérieure de la plaque de verre est ternie, les rayons lumineux qui, après avoir traversé la couche sensible, tombent sur cette face, sont diffusés en tous sens. Ces rayons diffusés par la face postérieure du verre peuvent interférer avec les rayons diffusés par la couche sensible et donner autour du point d'incidence des anneaux d'interférence alternativement transparents et opaques. Soit SI (*fig. 705*) un faisceau incident, IB un des rayons diffusés ; AB et BC peuvent interférer au point C : ce point sera obscur ou éclairé et il se formera autour du point I des anneaux alternativement transparents et opaques. Soit y la distance du point C au point I, e l'épaisseur de la plaque de verre et λ la longueur d'onde des rayons lumineux, la différence de marche des rayons IAC IBC sera

$$(IA + AC) - (IB + BC) = e + \sqrt{e^2 + y^2} - 2\sqrt{e^2 + \frac{y^2}{4}} = m\frac{1}{2}\lambda.$$

En donnant à m des valeurs impaires et en résolvant l'équation en y on aura les rayons des anneaux transparents; en donnant à m des valeurs paires on calculera les rayons des anneaux opaques.

On peut représenter graphiquement l'intensité des divers points de l'auréole

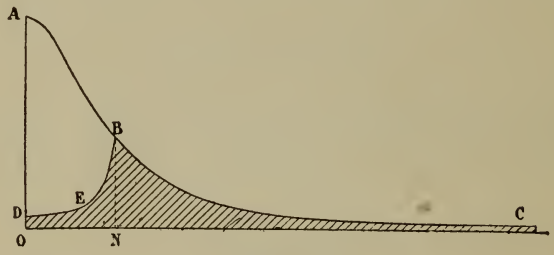


Fig. 706.

d'irradiation. Soit ABC (*fig. 706*) une courbe dont les abscisses et les ordonnées représentent respectivement les distances au centre de l'auréole et les intensités de la lumière reçue sur la face TU; soit DEB la couche dont les ordonnées indiquent, d'après les formules de Fresnel, la quantité de lumière réfléchie à la face TU : tant que l'on considérera des points de l'auréole situés à des distances du centre de l'image inférieure à ON, les opacités de ces points seront données par les ordonnées de la courbe DEB. Au point N, correspondant à l'angle limite, l'opacité est maxima, puis, pour des points de l'auréole plus éloignés du centre que le point N, les opacités seront indiquées par les ordonnées de la courbe BC. Donc, les ordonnées de la courbe DEBC sont proportionnelles aux divers points de l'auréole d'irradiation [1].

L'irradiation est donc due principalement à la réflexion des rayons lumineux à la surface postérieure du verre qui supporte la couche sensible. Le

1. De La Baume-Pluvinel, *Le temps de pose*, p. 101.

meilleur moyen de combattre cette réflexion consiste à mettre en contact avec la face postérieure de la plaque une substance dont l'indice de réfraction se rapproche de celui du verre. Les rayons lumineux pénétreront dans cette substance sans se réfléchir à la surface de séparation des deux milieux. Si en même temps la substance est capable d'absorber les rayons actiniques, aucun rayon actif ne pourra retourner dans la plaque de verre et impressionner la matière sensible. C'est ainsi qu'on a conseillé l'emploi de la gélatine, de la dextrine du sucre mélangés avec de la terre de Sienne, du carmin ou d'autres matières colorantes. On obtient un bon résultat [1] par le mélange de 100 grammes de terre de Sienne, 3 grammes de dextrine et 2 grammes de glycérine délayée dans l'eau. Chardon [2] se sert d'une dissolution de 5 grammes de gomme dans l'eau et ajoute une dissolution de 2 grammes de chrysoïdine dans l'alcool. Abney a recommandé l'emploi de la teinture de curcuma mélangé à du vernis ou bien celle du vernis au bitume dissous dans la benzine. Stolze [3] recouvre l'envers de la plaque d'un collodion à l'aurine : il obtient ce collodion en préparant d'abord une dissolution de 50 grammes d'aurine dans 100 c. c. d'alcool : la dissolution doit être faite à chaud ; à 300 c. c. de collodion normal il ajoute 100 c. c. de la dissolution d'aurine et 4 c. c. d'huile de ricin. D'après Abney, l'éosine donne des résultats presque aussi bons que ceux fournis par l'aurine.

1009. Recherches de M. Cornu. — M. Cornu [4] a démontré que le halo photographique se produit par illumination de la couche diffusante formant la surface sensible ; le diamètre du halo est proportionnel à l'épaisseur de la lame de verre sur laquelle cette couche est déposée. L'éclat des halos est d'autant plus faible que leur diamètre est plus grand. La forme circulaire du halo et la grandeur de son diamètre sont indépendantes de l'obliquité du faisceau incidant ; elles sont également indépendantes de la construction de l'objectif produisant le point lumineux central ; un simple petit trou dans un carton noir laissant passer un faisceau intense suffit à produire le halo.

M. Cornu a montré que toute substance diffusante, translucide, déposée sur l'une des deux faces d'une lame de verre, produit directement le phénomène sans intervention de la photographie. Il a vérifié ce fait avec de la gélatine bromurée, du collodion à l'iodure d'argent, de la gélatine mélangée de sulfate de baryte, du verre émaillé, ou plus simplement du blanc de gouache étalé au pinceau : toutes ces substances réussissent également bien pourvu qu'il y ait une continuité optique complète entre les particules diffusantes et le verre sur lequel elles sont disposées.

Le halo photographique est dû à la réflexion totale du faisceau diffusé à l'intérieur du verre, dans tous les sens, par la couche diffusante (première surface) sur la surface non diffusante (seconde surface) ; il est formé par l'intersection avec la première surface du cône des rayons réfléchis totalement sur la seconde.

M. Cornu a vérifié cette explication : 1° en employant des plaques de

1. *Yearbook of Phot.*, 1883, p. 203.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1878, p. 35.
3. *Phot. Wochenbl.*, 1882, p. 164 ; 1883, p. 96.
4. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1890, p. 160.

diverses épaisseurs ou en collant avec un liquide des lames variées derrière la plaque sensible ; 2° en faisant usage d'une plaque à faces prismatiques (ou munie d'un prisme de petit angle, 15° à 20°, collé avec un liquide) : le halo devient alors elliptique et excentrique ; 3° en remplaçant la lame de verre par une lame de spath d'Islande, parallèle au clivage. En vertu de la biréfringence de ce cristal on obtient deux halos : l'un circulaire, correspondant à la réflexion totale du rayon ordinaire, l'autre elliptique, correspondant à celle du rayon extraordinaire. Tous ces phénomènes ont été d'abord étudiés par vision directe et ensuite enregistrés par la photographie. Ils montrent qu'on peut : 1° atténuer le halo photographique en augmentant l'épaisseur de la plaque de verre, support de la couche sensible ; 2° on fait disparaître le halo photographique en couvrant d'un vernis noir la seconde face des glaces sensibles. Ce vernis, *à l'état sec*, doit avoir un indice de réfraction aussi voisin que possible de celui de la lame de verre sur laquelle est déposée la couche sensible ; de plus, la couche de vernis devra être assez absorbante pour éteindre les rayons photogéniques qui auront traversé son épaisseur.

On a recommandé, pour éviter les effets de l'irradiation, d'appliquer derrière le verre des surfaces mouillées telles que du drap noir, du papier rouge humide. Ces manières de procéder ne sont pas efficaces, car le verre se trouve en contact immédiat avec l'eau, et une partie des rayons lumineux peut encore se réfléchir à la surface de séparation du verre et de l'eau en donnant lieu à une irradiation partielle. Le papier mixtionné noir, servant à obtenir les épreuves dites au charbon, donne des résultats moins mauvais que ceux fournis par l'application d'étoffes mouillées au dos de la glace.

On diminue considérablement les effets de l'irradiation en remplaçant le verre ordinaire soit par un support opaque, soit par un verre coloré.

§ 6. — VARIATIONS DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE.

1010. Intensité de la lumière solaire. — Nous avons vu (**192**) que le coefficient d'éclairage est l'inverse de l'intensité actinique du faisceau qui éclaire l'objet : il faut donc connaître l'intensité de ce faisceau, intensité qui est variable et que l'on a déterminé par l'expérience. Le coefficient d'éclairage pris pour unité en France correspond à l'intensité maxima que peut acquérir à Paris un faisceau de rayons solaires : c'est donc le coefficient d'éclairage d'un objet exposé normalement aux rayons directs du soleil le 21 juin à midi. Si le coefficient d'éclairage est 1 en plein soleil, il est égal à 4 à l'ombre par un ciel serein ; il peut varier de 4 à 10 si le ciel est couvert. Nous avons donné, **192-A**, un tableau faisant connaître ces diverses variations.

Le coefficient d'éclairage varie suivant l'époque de l'année et l'heure de la journée ; à d'autres époques que le 21 juin, midi, les rayons du soleil sont moins intenses. Nous avons indiqué les corrections à introduire pour le calcul du temps de pose suivant l'heure de la journée et l'époque de l'année.

On évalue la force chimique de la lumière à l'aide de certains réactifs ; cette évaluation constitue l'actinométrie ou photométrie.

BIBLIOGRAPHIE.

De La Baume-Pluvinel. *Le temps de pose.*
Becquerel. *La lumière; ses causes et ses effets.*
Eder. *Ausfürliches Handbuch der Photographie*, I.
— *Des actions chimiques de la lumière colorée.*
Hunt. *Researches on Ligth.*
Radau. *Les radiations chimiques du soleil.*
Salet. *Analyse spectrale.*
Stein. *Das Licht.*
Vogel (H.). *Lehrbuch der Photographie.*
— *Praktische Spectralanalyse.*

CHAPITRE II.

PHOTOMÉTRIE.

§ 1. — GÉNÉRALITÉS.

1011. Mesure des actions chimiques de la lumière. — La *photométrie* a pour objet de comparer les intensités des diverses sources de lumière; s'il s'agit de la mesure de l'activité chimique de la lumière, on emploie le nom d'*actinométrie*. On se propose de mesurer un travail chimique: dans ce but on emploie certaines réactions; mais la difficulté réside dans le choix de la réaction qu'il convient d'adopter. En effet, les divers rayons chimiques n'agissent pas de la même manière sur tous les corps sensibles; de plus, comme l'a montré Berthelot[1], on devrait choisir une réaction *endothermique* (qui absorbe de la chaleur) et non pas une réaction *exothermique* (qui dégage de la chaleur); or, ce sont précisément ces dernières que l'on choisit d'habitude. La lumière provoque de nombreuses réactions exothermiques, telles que la formation de l'acide chlorhydrique, les nombreux phénomènes d'oxydation observés en photographie, la réduction des sels d'argent, d'or, de peroxyde de fer, etc., opérés avec le concours d'une substance oxydable. Dans ce groupe de réactions, la lumière détermine le phénomène chimique, mais ce n'est pas elle qui effectue le travail principal, c'est-à-dire qui fournit la chaleur mise en jeu; la lumière, en un mot, joue un rôle analogue à celui d'une allumette qui servirait à incendier un bûcher. Dans les réactions endothermiques, au contraire, c'est la lumière qui effectue elle-même le travail chimique; ainsi, c'est elle qui décompose l'acide carbonique dans la nutrition aérienne des végétaux; par suite, d'après Berthelot, l'exactitude des méthodes fondées sur des phénomènes tels que la combinaison du chlore et de l'hydrogène, donne des résultats de même ordre que ceux que l'on obtiendrait si l'on voulait déterminer la chaleur produite par la combustion du soufre d'une allumette, en pesant le bois brûlé dans le foyer auquel cette allumette communique le feu. Pendant la réunion du chlore avec l'hydrogène, la combinaison développe un travail positif énorme qu'il est impossible de séparer et même de distinguer du travail de la lumière, lequel est beaucoup plus petit. Cette objection enlève toute valeur théorique au procédé dans lequel on emploie le chlore et l'hydrogène; il en est de même de celui basé sur l'action du sesquioxyde de fer sur l'acide oxa-

1. *Annales de chimie et de physique*, sept. 1869, 4e série, t. XVIII, p. 83.

lique. Ces réactions dégagent par elles-mêmes de la chaleur indépendamment de l'action de la lumière, qui est simplement agent provocateur; les affinités chimiques effectuent les travaux accomplis dans cette circonstance. Entre le travail de la lumière qui détermine la combinaison et entre la chaleur totale dégagée par celle-ci, il n'existe pas plus de relation qu'entre le travail de la main qui ouvre le robinet d'un réservoir et le poids de l'eau qui s'échappe ensuite du réservoir. Par conséquent, la mesure du travail de la lumière solaire doit être cherchée dans les réactions qui s'accomplissent avec absorption de chaleur, la lumière étant la cause efficiente de la réaction; encore faudrait-il, même dans ce cas, distinguer les effets spéciaux de chaque espèce de radiation lumineuse, ces effets n'étant pas applicables à la mesure totale des effets dus à l'ensemble des radiations[1].

On a répondu à cette objection qu'il était certain que le travail chimique obtenu n'était pas l'équivalent du travail accompli par la lumière, mais qu'il pouvait servir à représenter ce dernier par une unité de convention; de plus, Bunsen et Roscoë ont prouvé que, dans l'action de la lumière sur le mélange de chlore et d'hydrogène, la quantité d'acide chlorhydrique est toujours proportionnelle à l'intensité de la lumière employée; en outre, on a constaté que pour une quantité donnée d'action chimique produite au sein du mélange gazeux il y a absorption d'une quantité déterminée de lumière.

1012. Historique. — Les premiers essais qui ont été faits pour comparer les intensités de deux lumières remontent à Maurolicus en 1525 et à Huyghens. François Marie, en 1700, cherchait le nombre de lames de verre qu'il fallait placer devant chacune des deux lumières pour qu'elles parussent du même éclat. Lampadius interposait des lames de corne, d'autres des feuilles de papier jusqu'à ce que les lumières disparussent. Celsius cherchait à quelle distance il faut se placer des deux lumières à comparer pour cesser de distinguer des cercles ou autres signes tracés sur une feuille de papier, qu'il nommait *lucimètre*. Euler s'est occupé de cette question à un point de vue théorique. Lambert, et surtout Bouguer, ont fait des recherches étendues sur la photométrie; Arago, Foucault, Masson, etc., se sont surtout occupés de photométrie optique[2]. Draper[3] paraît être le premier qui ait sérieusement essayé de mesurer la force du soleil à l'aide d'un réactif approprié; il se servait de chlore et d'hydrogène et appelait son appareil *tithonomètre*. Bunsen et Roscoë publièrent, en 1856, la description de leur photomètre à chlore et à hydrogène. L'actinomètre dont ils se sont servis est fondé sur l'emploi d'un mélange à volumes égaux de chlore et d'hydrogène, qui se conserve indéfiniment dans l'obscurité, mais qui se transforme en acide chlorhydrique lorsqu'on l'expose à la lumière. En 1857, Draper[4] a fait connaître un autre procédé pour mesurer la force chimique de la lumière. Ce procédé repose sur la propriété que possède l'oxalate ferrique de se transformer en oxalate ferreux jaune, insoluble, avec dégagement d'acide carbonique, lorsqu'on expose une dissolution acide de ce sel à

1. Berthelot, *Journal de physique*, II, p. 402.
2. Daguin, *Traité de physique*, IV, p. 27.
3. *Philos. Magaz.*, 1843, XXXIII, p. 401.
4. *Ibid.*, sept. 1857.

l'action de la lumière. Depuis lors, il a été fait de nombreux photomètres : les uns sont basés sur la mesure d'un gaz dégagé ou disparu pendant la réaction, les autres utilisent le noircissement plus ou moins considérable d'un papier sensible, d'autres sont basés sur diverses réactions chimiques. Warnerke a construit un photomètre à phosphorescence. Enfin, le Congrès international de photographie a adopté pour la mesure de sensibilité des plaques un photomètre spécial basé sur l'emploi de la lampe-étalon à acétate d'amyle. Divers autres photomètres ont été proposés, mais ne sont pas d'un usage pratique en photographie.

§ 2. — PHOTOMÈTRES A GAZ.

1013. Principe de l'appareil de Bunsen et Roscoë. — Les photomètres à gaz comprennent les instruments contenant divers réactifs susceptibles de fournir un dégagement de gaz quand on les expose à la lumière. Le mélange de chlore et d'hydrogène employé par Bunsen et Roscoë s'obtenait par l'électrolyse d'une solution d'acide chlorhydrique; c'est sur ce mélange, dont on mesurait la diminution de volume, que l'on faisait agir la lumière. Mais l'action de la lumière n'est point instantanée; elle est d'abord à peine sensible, puis elle monte peu à peu et finit par atteindre un maximum où elle se maintient. Bunsen a appelé ce phénomène *induction photochimique*. On l'observe encore lorsqu'on augmente brusquement la lumière. L'action de la lumière ne persiste pas dans l'obscurité; l'effet cesse aussitôt que la lumière est supprimée. Bunsen et Roscoë ont constaté que la quantité d'acide chlorhydrique qui prenait naissance était toujours proportionnelle à la quantité de lumière employée et par suite proportionnelle à l'intensité de la lumière incidente.

Dufour, en 1880, a construit un photomètre dans lequel le mélange de chlore et d'hydrogène est fourni par l'électrolyse d'une solution d'acide chlorhydrique; il mesure la force du courant électrique dont l'action décomposante contrebalance la combinaison produite par la lumière.

M. Dessandier[1] a construit un actinomètre basé sur l'action de la lumière sur le mélange de chlore et d'hydrogène; cet instrument a été appliqué au tirage automatique des épreuves; une sonnerie électrique avertit de l'instant où les épreuves sont suffisamment imprimées.

§ 3. — PHOTOMÈTRES A DÉGAGEMENT DE GAZ.

1014. Emploi des oxalates. — Niepce de Saint-Victor[2] a construit un photomètre composé d'un flacon rempli à moitié d'une solution de nitrate d'urane et d'acide oxalique et dont le bouchon porte un tube plongeant au fond du vase. Ce liquide ne se décompose pas dans l'obscurité; à la lumière,

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 8 nov. 1889.
2. *Cosmos*, 1859, XVI, p. 129.

il se dégage aussitôt de l'acide carbonique qui fait monter le liquide dans le tube d'une hauteur proportionnelle à la durée et à l'énergie de l'action lumineuse.

Van Monckhoven[1] a donné la formule suivante pour préparer la liqueur destinée au photomètre : dans 200 c. c. d'eau on fait dissoudre 100 grammes de nitrate d'urane ; l'opération se fait dans une capsule en porcelaine que l'on chauffe sur un fourneau à gaz ; on ajoute par portions successives une dissolution chaude et concentrée de carbonate d'ammoniaque dans l'eau ; il se produit dans la capsule une effervescence due au dégagement d'acide carbonique, et il se forme un précipité d'uranate d'ammoniaque jaune ; à mesure qu'on ajoute du carbonate d'ammoniaque la solution s'éclaircit, et il arrive un moment où elle devient entièrement claire, parce que l'excès de carbonate d'ammoniaque dissout l'uranate. On l'abandonne alors au refroidissement jusqu'au lendemain, et l'on trouve le fond de la capsule entièrement tapissé de cristaux de carbonate ammoniacal d'urane que l'on enlève, que l'on place dans un buvard et que l'on sèche doucement au feu. On met alors 50 grammes de ce sel d'urane dans un liquide contenant 30 grammes d'acide oxalique et 200 c. c. eube d'eau. Le sel d'urane se dissout en dégageant de l'acide carbonique ; l'on a alors de l'oxalate d'urane que l'on filtre dans un flacon d'une capacité de 250 c. c. On le remplit complètement d'eau, et on le ferme à l'aide d'un bouchon de caoutchouc percé d'un trou, dans lequel s'engage un tube de verre de $0^{m}30$ de longueur ; en enfonçant le bouchon dans le goulot, le liquide s'élève dans le tube dont le diamètre est d'environ $0^{m}001$; on abandonne cet appareil dans l'endroit où il doit servir afin qu'il en prenne bien la température. Pour le soustraire à l'action de la lumière, il suffit de le couvrir d'une cloche en carton ; à la lumière, il se dégage de l'acide carbonique qui fait monter le liquide dans le tube d'une hauteur proportionnelle à la durée et à l'énergie de l'action lumineuse. Parmi les causes d'erreur que présente l'emploi de cet appareil, il convient de signaler la dissolution d'acide carbonique dans le liquide du flacon ; de plus, H. Vogel a constaté que le dégagement d'acide carbonique continue dans l'obscurité.

Le photomètre à l'oxalate d'urane a été employé pour la première fois par Burnett[2] en 1858.

Ces photomètres sont assez semblables à ceux que Draper avait employés en 1857. Draper[3] se servait d'une solution d'oxalate ferrique acide, laquelle est sensible aux rayons indigos et violets ; on obtient de l'acide carbonique et de l'oxalate ferreux. Pour connaître l'action de la lumière, on peut mesurer la quantité d'acide carbonique ou bien peser l'or réduit du chlorure d'or par l'oxalate ferreux qui s'est formé.

Woods[4], pour corriger les erreurs provenant de la température, a ajouté à l'appareil un thermomètre. Il préparait la liqueur sensible en oxydant 1083 grammes de sulfate ferreux par 140 grammes d'acide nitrique et 150 grammes d'acide sulfurique ; il précipitait par l'ammoniaque le peroxyde

1. *Aide-mémoire de photographie pour* 1880, p. 133.
2. *Société photographique de Liverpool*, 15 déc. 1858.
3. *Philos. Magaz.*, LI, 161.
4. *Journ. Phot. Soc. London*, VI, p. 135.

de fer formé et le dissolvait à l'aide de 720 grammes d'acide oxalique dissous dans 9600 c. c. d'eau; on obtenait ainsi une solution d'oxalate ferrique à 7 % environ.

Marchand[1] s'est servi, dans ses nombreuses expériences, d'une liqueur sensible composée de 1 volume de solution de perchlorure de fer à 21° Baumé et 2 volumes d'acide oxalique à 5 %, ces deux solutions étant préalablement saturées d'acide carbonique. L'appareil de Marchand était composé d'une série de tubes fermés de 0m006 de diamètre et 0m10 de long et d'un tube capillaire ouvert aux deux bouts et plongeant dans le liquide. On mesurait en millimètres l'ascension du liquide dans ce tube capillaire.

Warnerke[2] emploie un liquide de composition assez semblable au précédent. Il mesure la colonne de liquide déplacée par le gaz; le photomètre possède en outre deux fils électriques que réunit le liquide pour faire marcher une sonnerie d'avertissement : il appelle cet appareil *photomètre avertisseur*.

Carey Lea[3] s'est servi d'un appareil composé d'une boule de verre sur laquelle est soudée à la partie supérieure un tube de verre droit de petit diamètre. A sa partie inférieure on soude un tube large recourbé en siphon. Tout l'appareil étant tenu dans l'obscurité, on l'emplit avec une solution d'oxalate double de fer et d'ammoniaque, puis on expose la boule seule à la lumière. La décomposition s'opère immédiatement et on apprécie l'intensité lumineuse d'après l'acide carbonique dégagé. Le dépôt ocreux d'oxyde de fer qui se dépose empêche l'action de la lumière de se produire régulièrement.

1015. Emploi de l'iodure d'azote. — Guyard a récemment proposé l'emploi de l'iodure d'azote obtenu en mélangeant de l'iode en poudre avec un excès d'ammoniaque : il se dégage à la lumière de l'azote et il se forme de l'iodate et de l'iodure d'ammonium; mais cette réaction ayant lieu principalement sous l'action des rayons jaunes n'est pas utilisable en photographie. L'appareil est disposé pour comparer les intensités de deux sources lumineuses.

§ 4. — PHOTOMÈTRES BASÉS SUR DIVERSES RÉACTIONS CHIMIQUES.

1016. Sels de mercure. — Si l'on expose à la lumière un mélange d'acide oxalique et de bichlorure de mercure, il se produit du calomel. Fowler[4] a employé un mélange d'oxalate d'ammoniaque et de sublimé corrosif : sous l'action de la lumière, il se produit du chlorhydrate d'ammoniaque, de l'acide carbonique et du calomel. Lorsqu'on expose au soleil une dissolution contenant ces divers liquides, le calomel commence à se déposer au bout de dix à quinze secondes, et la quantité formée est proportionnelle à l'action lumineuse; le mélange se conserve dans l'obscurité. Le calomel

1. *Étude sur la force chimique contenue dans la lumière du soleil*, Paris, 1857.
2. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, VI, p. 403.
3. *Annuaire photographique*, 1868, p. 99.
4. *Liverpool and Manchester phot. Journ.*, oct. 1858.

formé est rassemblé sur un filtre, lavé, séché et pesé; on pourrait aussi mesurer la quantité d'acide carbonique formé. Becquerel[1] a employé une liqueur sensible formée de 65 grammes de bichlorure de mercure et 125 grammes d'acide oxalique.

Eder[2] prépare la liqueur sensible à la lumière en mélangeant 2 volumes d'une solution d'oxalate d'ammoniaque à 40 grammes par litre et 1 volume de solution de bichlorure de mercure à 50 grammes par litre. Ce mélange se conserve limpide dans l'obscurité, mais se trouble au bout d'une minute à la lumière par la précipitation du chlorure mercureux. Pour établir le photomètre, Eder introduit le mélange dans un verre de Bohême rendu opaque et fermé par un couvercle à rebord; dans le milieu du couvercle, il pratique une ouverture par laquelle pénètre la lumière. On pèse après l'exposition à la lumière la quantité de calomel formé; la lumière ne doit arriver que sur la partie du liquide horizontale exposée et évaluée en centimètres carrés. La dilution progressive de la solution et la température influent beaucoup sur la sensibilité du liquide; la sensibilité décroît avec la richesse en bichlorure de mercure et en oxalate. Eder a calculé des tables de correction pour la température et la dilution. Comme l'a fait observer H. Vogel, il faut que la lumière tombe perpendiculaire à la surface du liquide et jamais par les parois du vase qui se terniraient et deviendraient opaques à cause du dépôt qui s'y forme; en second lieu, on est obligé de faire des pesées fort exactes à cause des petites quantités de précipité formé par la lumière.

1017. Réactions diverses. — Phipson a proposé l'emploi d'une solution de molybdate d'ammoniaque dans un excès d'acide sulfurique. On réduit par le zinc jusqu'à coloration bleu foncé et on ajoute du permanganate jusqu'à décoloration : la liqueur se conserve sans coloration dans l'obscurité et devient bleue à la lumière. La quantité d'acide molybdique réduit, et par conséquent la force de la lumière, sont mesurées par un titrage au permanganate de potasse.

L'emploi de la méthode volumétrique pour titrer rapidement la réduction produite par la lumière sur l'oxalate ferrique a été proposé par Penny : il mesurait par un titrage au bichromate de potasse la proportion du sel ferreux formé.

Roussin a conseillé l'emploi d'une dissolution de 2 grammes de nitroprussiate de soude, 2 grammes de perchlorure de fer sec et 10 grammes d'eau. Cette dissolution ne s'altère pas à la température de 100°; elle dépose à la lumière du bleu de Prusse. La quantité de précipité formé, ou bien la diminution de densité des liquides, permet de mesurer l'intensité de la lumière.

1. *La Lumière*, II, p. 69.
2. *Wiener Akad.*, LXXX, oct. 1879.

§ 5. — PHOTOMÈTRES USUELS.

1018. Photomètres au chlorure d'argent. — Les photomètres usuels sont basés sur l'emploi du papier sensible préparé soit au chlorure d'argent, soit au bichromate de potasse. Le premier de ces appareils a été proposé par Malagutti[1]. Herschell[2], Claudet[3], et plusieurs autres ont proposé de mesurer l'intensité de la lumière à l'aide du noircissement du papier au chlorure d'argent. Heeren[4], puis Schall[5], ont appliqué ce papier à la mesure de l'intensité lumineuse pour les opérations photographiques.

C'est ce moyen qu'ont employé Bunsen et Roscoë pour évaluer les effets chimiques de la lumière. Ils ont cherché le rapport qui existait entre l'intensité d'une lumière et la teinte plus ou moins foncée de l'épreuve qu'elle fournit dans un temps donné. On a reconnu qu'il n'était pas possible d'employer une méthode fondée sur une définition directe de la teinte par la vigueur de la coloration ; mais l'expérience a prouvé que le temps d'exposition nécessaire pour obtenir une teinte déterminée est toujours en raison inverse de l'intensité de la source lumineuse. Une lumière d'intensité 1 qui agit pendant deux secondes donne le même résultat qu'une lumière d'intensité 2 que l'on fait agir pendant une seconde seulement; la teinte est toujours la même si le produit de l'intensité lumineuse par le temps d'exposition reste le même. Ce produit, qui représente la quantité totale de lumière versée sur le papier sensible, peut être pris pour mesure de la teinte d'une épreuve; il en représente numériquement la valeur. Il suffit donc d'avoir une série d'échantillons de teintes dont on détermine la valeur absolue en notant les temps d'exposition nécessaires pour les obtenir avec une lumière d'intensité connue. L'intensité d'une lumière quelconque se trouvera en cherchant parmi les échantillons fixes la teinte identique à celle que cette lumière a produite sur le papier sensible et en divisant la valeur connue de cette teinte par le temps d'exposition observé.

Bunsen et Roscoë[6] obtiennent une gamme d'échantillons régulièrement dégradés du noir au blanc en exposant une bande de papier sensibilisé sous une fente recouverte d'un écran mobile qui se retire peu à peu, de manière à découvrir successivement toute la longueur de la bande : on obtient ainsi une échelle de teintes de plus en plus foncées dont on connaît les temps d'exposition que l'on marque en marge. Roscoë s'est aussi procuré des teintes d'une valeur relative connue en exposant simultanément six bandes de papier sous un nombre égal de boîtes cylindriques percées d'ouvertures dont la grandeur variait dans le rapport de 1 à 12. On prend pour point de départ une teinte type, qui est donnée par un mélange de 1,000 parties de

1. *Annales de chimie et de physique*, 2e série, LXXII, p. 5.
2. *Philos. Trans.*, 1840, p. 46.
3. *London Philos. Mogaz.* (3), XXXIII, p. 329.
4. *Poggend. Ann.*, LXIV, p. 309.
5. *Cosmos*, III, p. 487.
6. *Poggend. Ann.*, CXVII, p. 529.

blanc de zinc avec 1 partie de noir de fumée. La lumière qui produirait cette teinte en une seconde est prise pour unité, d'où il suit que la valeur de la teinte type est aussi l'unité. On cherche sur l'épreuve le point qui offre la teinte type et on lit en marge le temps d'exposition correspondant; si ce temps est de une, deux, trois... n secondes, l'intensité de la lumière dont on a fait usage se trouve en divisant par 1, 2, 3... n la valeur de la teinte obtenue qui est l'unité; l'intensité cherchée est donc respectivement $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3} \ldots \frac{1}{n}$. Connaissant ainsi, par le temps d'exposition correspondant à la teinte type, l'intensité de la lumière employée, on en déduit immédiatement la valeur absolue de toutes les autres teintes de l'épreuve-étalon en multipliant par cette intensité les temps d'exposition marqués en marge.

Il faut préparer un papier d'une sensibilité uniforme et constante. Le papier est sensibilisé dans un bain de 30 grammes de sel marin pour 1 litre d'eau; il est séché, puis immergé dans une solution contenant 120 grammes de nitrate d'argent pour 1 litre d'eau. Ce papier séché conserve toutes ses propriétés pendant vingt-quatre heures. Bunsen et Roscoë ont constaté que si l'œil peut saisir de petites différences dans la teinte du papier lorsque sa coloration est faible, la comparaison n'est plus possible lorsqu'il est plus noirci.

Les photomètres employés habituellement pour mesurer les temps d'exposition nécessaires aux photocopies sur gélatine bichromatée sont extrêmement nombreux. Les plus simples, tel que celui de Monckhoven, consistent en une boîte cubique analogue à un encrier de poche dont le couvercle est formé d'une plaque de verre peinte du ton que prend le papier lorsqu'on l'expose à la lumière; cette teinte offre au centre une lacune; sous cette partie transparente glisse l'extrémité d'un rouleau de papier sensible contenu dans la boîte. On prend comme unité de temps l'espace que met le papier à se colorer du ton voulu, et on laisse la gélatine préparée exposée à la lumière sous le négatif pendant une, deux, trois ou plusieurs unités. Les photomètres de Monckhoven, celui de Lamy, de la Compagnie autotype, de Woodbury et bien d'autres sont basés sur ce principe. Nous avons décrit les plus usités (**668**).

Dans le photomètre de Monckhoven, la boîte qui contient le rouleau de papier sensible possède deux couvercles : l'un porte le verre rouge-chocolat, sauf un carré situé au centre, et peut être recouvert par un deuxième couvercle muni d'un verre dépoli et d'un volet à coulisse gradué en 10 parties; on détermine par expérience quelle ouverture du volet il faut donner suivant le caractère du négatif. Le papier sensible employé pour le photomètre Monckhoven est préparé en trempant du papier dans une solution de 10 grammes de chlorure de sodium pour 2 litres d'eau; on immerge le papier pendant deux minutes dans ce bain et on le suspend dans l'obscurité pour le faire sécher; on le fait plonger ensuite dans un bain de 200 grammes de nitrate d'argent pour 2 litres d'eau, on lave ce papier pour éliminer l'excès de nitrate d'argent et on fait sécher; on le coupe ensuite en bandes de 0^m01 de large que l'on dispose en rouleaux. Comme ce papier est peu sensible à la lumière, on dispose à côté de lui dans le photomètre un morceau gros comme un pois de carbonate d'ammoniaque entouré d'un peu de papier Joseph.

1019. Photomètres à échelles. — Lanet de Limency[1] a construit, sous le nom de *lucimètre*, un instrument analogue à celui qui avait été employé pour mesurer l'intensité de la lumière : il consiste en une série de bandes de papier végétal superposées, les bandes étant de longueur inégale, de telle sorte que par l'une des extrémités de la série la lumière passe à travers une seule feuille de papier; à l'autre extrémité la lumière est obligée de traverser plusieurs épaisseurs. Une feuille de papier sensible placée sous cet appareil noircit par teintes plates successives de moins en moins foncées.

Vogel[2] a construit un photomètre destiné à déterminer la durée nécessaire à l'insolation des mélanges de gélatine et bichromate de potasse. Cet instrument se compose d'une boîte de bois à double couvercle, contenant des bandes de papier bichromaté, et une échelle sous verre en papier, dont la transparence varie par degrés numérotés.

La boîte étant garnie, on l'expose à la lumière en même temps que le négatif à imprimer; au bout d'un certain temps, on couvre un tiers du négatif quand le photomètre marque 10 par exemple, on en couvre un second tiers quand il marque 12, et le dernier tiers quand il marque 14. La lumière traversant l'échelle transparente brunit graduellement la bande de papier sur laquelle on peut lire en blanc le numéro du degré qui sur l'échelle est marqué en noir; on dépouille l'image du négatif et on choisit le numéro qui convient le mieux au tirage. Pour effectuer avec précision la vérification du photomètre il faut opérer à la lumière d'une lampe, et pendant l'examen de la bande de papier le châssis positif doit être placé dans l'obscurité. On prépare le papier bichromaté en trempant des bandes de papier Rives ou de Saxe dans une dissolution formée de 1 gramme de bichromate de potasse et 30 d'eau; ce papier, séché dans l'obscurité, est ensuite débité à la dimension convenable pour le photomètre.

Bing[3] s'est servi comme échelle photométrique de feuilles de mica superposées portant un numéro d'ordre. Ce photomètre s'emploie comme celui de Vogel; il en est de même de celui de Sawyer, qui contient une échelle à dix numéros.

Spencer[4] a construit un photomètre consistant en une boîte dont le couvercle porte douze trous garnis de une à douze lamelles de collodion teintes en rouge; on expose derrière ces lamelles du papier bichromaté; mais l'appareil exige des temps d'insolation très longs, il manque de sensibilité.

Abney[5] a proposé d'employer un photomètre permettant d'éviter la cause d'erreur qui provient de l'absorption des diverses radiations par des épaisseurs inégales d'une même substance. Il construit l'échelle transparente en faisant tourner autour de son centre une étoile en carton noir placée contre l'ouverture d'une fenêtre ayant un ciel bien clair derrière elle : on obtient un négatif qui montre une image finement dégradée, variant depuis la transparence la plus parfaite jusqu'à l'opacité à peu près absolue. Ce négatif au collodion est viré à l'aide d'un bain contenant 0,26 de bichlorure de platine,

1. *Phot. Mittheilungen*, 1868, p. 292.
2. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1856, p. 80.
3. *Ibid.*, 1867, p. 137.
4. *Phot. Archiv.*, 1870, p. 333 ; 1871, p. 13.
5. *Phot. News*, 4 février 1876.

4 gouttes d'acide nitrique et 500 c. c. d'eau; la couleur vire au noir. En examinant au spectroscope les rayons transmis par cette couche colorée, on trouve que les couleurs sont absorbées uniformément; des bandes coupées du centre vers les bords fournissent une très bonne échelle pour photomètre.

Fleury Hermagis a établi un photomètre du même genre : il consiste en une petite plaque de verre jaune en forme de secteur taillée à épaisseur variable, chaque zone portant un numéro; on expose dessous une feuille de papier albuminé pendant un temps déterminé et on lit le numéro obtenu.

1020. Photomètre à tubes. — Taylor[1] s'est servi de tubes opaques percés d'ouvertures variables au fond desquels on place le papier sensible. L'appareil comprend un bloc de bois de 0m024 de long sur 0m04 de large et 0m03 de hauteur, qui est traversé par dix trous cylindriques égaux. La lumière est admise dans un cylindre creux, au travers d'une plaque de métal mince, percée de trous égaux dont le nombre varie : 3 pour le premier, puis 4, 5, 6, 7, 10, 13, 16, 20, 25. Un couvercle ferme de chaque côté la boîte : celui de dessus sert à faire agir la lumière au moment voulu, celui de dessous maintient la bande de papier sensible. La quantité de lumière admise est proportionnelle au nombre de trous, mais peut varier avec l'inclinaison de l'appareil : c'est là un grand défaut pour l'impression des images positives; cependant, cet appareil peut servir comme sensitomètre pour comparer deux préparations sensibles.

Mucklow et Spurge[2] ont construit un photomètre basé sur le principe de celui de Taylor : chaque tube est formé par une case portant une ouverture dont le diamètre diminue de plus en plus; au fond de chaque case, on trouve un numéro d'ordre qui s'imprime plus ou moins rapidement sur le papier sensible.

§ 6. — PHOTOMÈTRE A PHOSPHORESCENCE.

1021. Photomètre Warnerke. — Ce photomètre est basé sur la phosphorescence du sulfure de calcium[3]. Il se compose d'une boîte ronde de 0m07 de diamètre, démontable en trois parties; le fond est formé de deux plaques de verre emprisonnant du sulfure de calcium à phosphorescence bleue violacée, portant une graduation sur les bords. Ce fond glisse à frottement doux dans le corps de la boîte qui porte une ouverture de 0m013 de diamètre; elle délimite la partie de surface phosphorescente à exposer à la lumière; à travers une ouverture placée dans l'appareil on examine la surface phosphorescente. Une échelle de gélatine transparente de dix teintes plus ou moins foncées, portant au milieu un numéro plus clair, est alors interposée entre l'œil et la plaque insolée : il arrive un moment où on ne peut plus lire le numéro du disque; c'est ce chiffre qui marquera l'intensité de la lumière.

1. *Phot. News*, 1869, p. 19.
2. *The Phot. Journal*, 1881, p. 44.
3. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, 1880, p. 484.

§ 7. — PHOTOMÈTRES ÉLECTRIQUES.

1022. Actinomètre électro-chimique de Becquerel. — Cet appareil est destiné à comparer les effets chimiques des rayons du spectre par les intensités des courants électriques produits. L'appareil consiste en une petite cuve rectangulaire remplie d'eau rendue légèrement conductrice par un peu de sulfate de soude ou d'acide sulfurique. Cette cuve peut glisser sur une table, le long d'une règle divisée. Deux lames d'argent recouvertes d'une mince pellicule d'iodure, de bromure ou de chlorure d'argent, sont plongées parallèlement l'une à l'autre dans le liquide : ces deux plaques, aussi identiques que possible, communiquent avec un rhéomètre; le côté sensible d'une des lames est tourné vers une face transparente de la cuve, les autres faces étant opaques; au-devant de la première est un écran muni d'une fente verticale à largeur variable. Aussitôt que les radiations lumineuses frappent l'écran, l'aiguille du rhéomètre est déviée; on peut facilement observer l'angle d'impulsion [1].

1023. Photomètre d'Egoroff. — L'intensité du courant produit est proportionnelle à la largeur de la fente dans le photomètre de Becquerel; cette intensité varie en raison inverse du carré de la source lumineuse à l'appareil. Egoroff [2] a vérifié ces divers faits en procédant par comparaison au moyen d'un appareil composé de deux actinomètres de Becquerel placés l'un au-dessus de l'autre dans une boîte commune. Les fentes à largeur variable et placées l'une au-dessus de l'autre peuvent se déplacer horizontalement pour opérer sur différents endroits des plaques d'argent iodurées. Cet appareil différentiel est un photomètre très sensible.

1024. Photomètres divers. — May a observé que le sélénium exposé à la lumière conduit beaucoup mieux l'électricité que lorsqu'il est dans l'obscurité. Siemens [3] a indiqué le moyen d'augmenter cette sensibilité à la lumière en chauffant à 200° les minces bâtons de sélénium et les refroidissant brusquement. Siemens, L. Vidal, Adams [4] ont essayé d'employer ce photomètre; mais il ne paraît pas susceptible d'être appliqué en photographie, car les radiations les moins réfrangibles, rouge, jaune, vert, paraissent être plus actives que les radiations chimiques.

1. *Bulletin de l'Association belge de photographie*, VI, p. 410.
2. *Journal de physique*, V, p. 283.
3. *Jahresber. Chem.*, 1875, p. 112.
4. *London R. Soc. Procéd.*, XXIII, p. 535.

BIBLIOGRAPHIE.

Baume-Pluvinel (A. de La). *Le temps de pose.*
Becquerel. *La Lumière, ses causes, ses effets.*
Marchand. *Étude sur la force chimique de la lumière contenue dans le soleil.*
Radau. *Les radiations chimiques du soleil.*
Stein. *Das Licht.*
Vogel (H.). *Lehrbuch der Photographie.*

CHAPITRE III

UNITÉ DE LUMIÈRE ADOPTÉE EN PHOTOGRAPHIE.

§ 1. — GÉNÉRALITÉS.

1025. Utilité d'une unité fixe de lumière. — Les physiciens ont adopté comme unité de lumière la source lumineuse produite par une surface mesurant 1 centimètre carré de platine incandescent au moment de sa solidification[1]. C'est à cet étalon, proposé par M. Violle, que doivent être rapportées les unités proposées pour les usages photographiques.

L'appréciation de l'intensité lumineuse dans les opérations photographiques et la détermination de la sensibilité des surfaces préparées pour la photographie exige l'emploi d'une unité fixe de lumière; c'est le seul moyen d'apporter quelque précision dans les recherches pratiques aussi bien que dans les travaux usuels. Les radiations les plus actives étant celles comprises entre les raies G et H, on admet que dans les mesures le rapport des intensités des deux sources lumineuses sera déterminé par les méthodes de spectrophotométrie[2], en faisant porter la comparaison, en ce qui concerne les sels d'argent, sur les portions bleue et violette du spectre.

1026. Procédés proposés. — On a essayé de prendre comme unité fixe de lumière les bougies que l'on trouve partout; mais la nature des mèches, le mode de fabrication peuvent occasionner de grandes différences dans le pouvoir éclairant de la flamme; cette flamme éprouve, d'ailleurs, des oscillations et des variations de hauteur. Pour éviter ces inconvénients, le Congrès de photographie de 1889 a recommandé l'emploi de lampes à essence sans mèche extérieure, et s'est arrêté comme étalon pratique à la lampe à l'acétate d'amyle. Ce liquide donne une belle flamme; on peut se le procurer facilement partout à l'état de pureté[3]. Bothamley[4] a obtenu de bons résultats par l'emploi de cette lampe.

A l'aide de cette lampe et en se servant d'un photomètre portatif, on peut chercher à évaluer l'intensité lumineuse émise par les objets à photographier et non la lumière ambiante. La détermination à effectuer est celle de

1. *La Lumière électrique*, XIV, 1884, p. 475; XXXVII, 1888, p. 618.
2. *Annales de chimie et de physique*, 1883, XXIX, p. 556.
3. *La Lumière électrique*, 1888, XXVII, p. 414.
4. *Phot. News*, 9 août 1889.

la *clarté propre*[1] des objets résultant de leur mode d'éclairement. Dans ce but, on emploie un photomètre portatif analogue à celui que M. Mascart a fait établir pour la mesure des éclairements; il est complété par l'addition d'une lunette permettant d'obtenir une image de l'objet à photographier ou

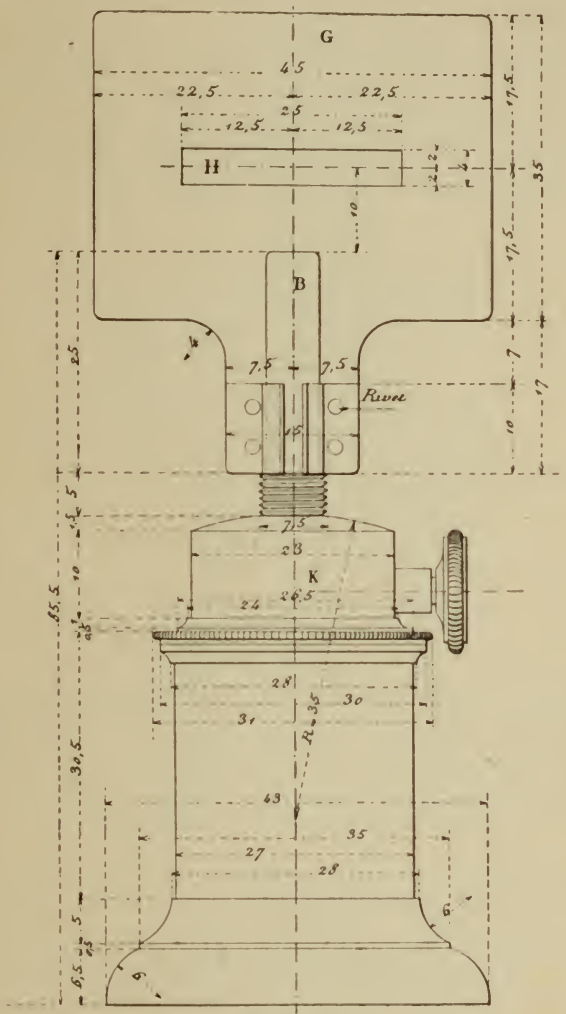


Fig. 707.

de la partie de cet objet spécialement considérée, cette image se trouvant amenée à côté de celle donnée par l'étalon de lumière adoptée.

1. *La Lumière électrique*, 1888, XXVIII, p. 180.

§ 2. — LAMPE A L'ACÉTATE D'AMYLE.

1027. Description de la lampe. — La lampe étalon, construite par M. Pellin, d'après les dimensions déterminées par le Congrès de photographie, est une lampe à réservoir métallique avec une mèche intérieure brûlant de l'acétate d'amyle; elle est en laiton nickelé et se compose d'un réservoir cylindrique avec embase formant socle, sur lequel se visse un dôme avec un tube porte-mèche et ses engrenages; une rondelle en cuir est interposée entre le dôme et le réservoir pour former joint (*fig. 707, 708*).

La base du tube porte-mèche est munie d'un filetage sur lequel se visse

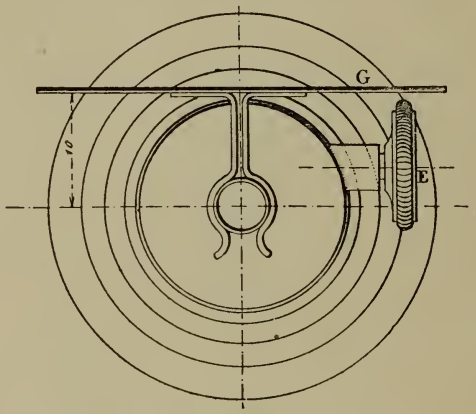


Fig. 708.

l'extrémité d'un tube obturateur, que l'on met en place quand on ne fait pas usage de la lampe pour éviter l'évaporation du liquide (*fig. 709*). Ce même tube peut recevoir un écran formé d'une plaque mince en laiton noirci, percée d'une fente horizontale et munie sur sa face arrière d'une pince à ressort qui s'adapte à frottement sur le tube porte-mèche, et permet de l'y fixer à une hauteur quelconque, comme cela est indiqué dans les figures 707 et 708.

Le système d'engrenage destiné à entraîner la mèche est formé de deux cylindres cannelés placés parallèlement de chaque côté du tube porte-mèche (*fig. 710*) et dont les dents pénètrent à l'intérieur de ce tube par deux échancrures latérales; deux roues dentées, montées sur l'axe de ces cylindres et engrenant ensemble, les rendent solidaires en les obligeant à tourner simultanément en sens inverse (*fig. 711*). L'axe de l'un des cylindres se prolonge à l'extérieur et se termine par un bouton moleté qui sert à commander la mèche. Cette mèche est en coton et tressée cylindriquement; elle mesure extérieurement 0m005 de diamètre. Ce système permet d'obtenir pour cette mèche un entraînement régulier sans établir avec l'extérieur de communication donnant passage aux vapeurs d'éther.

On se sert d'acétate d'amyle de densité 0,87 et dont le point d'ébulli-

tion est à 125° C. Pour préparer la lampe, après avoir dévissé le dôme, on remplit de liquide le réservoir inférieur jusqu'au-dessous du filetage et l'on remet en place le dôme en le vissant après s'être assuré que la mèche est en bon état et assez longue pour plonger dans le liquide, tout en arrivant par sa partie supérieure à l'orifice du tube porte-mèche.

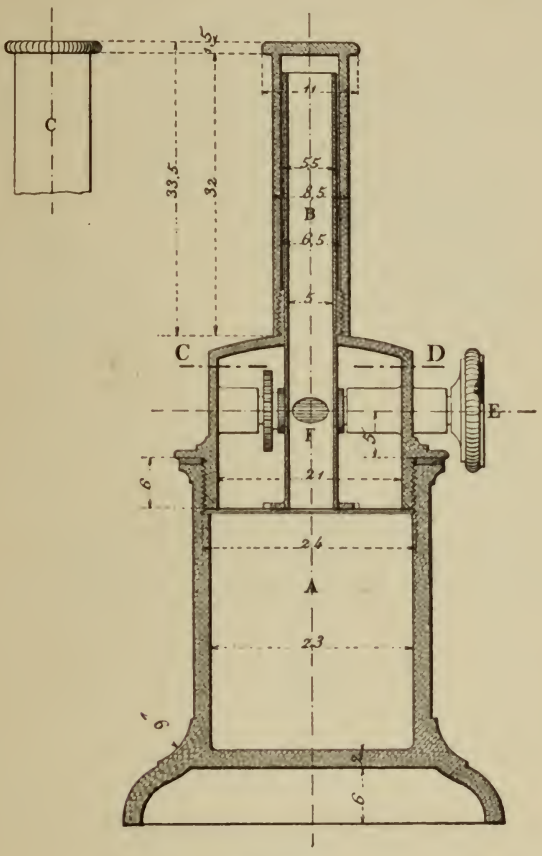


Fig. 709.

On allume la lampe en laissant la mèche engagée dans le tube et l'on règle la hauteur de la flamme en tournant le bouton moleté de façon que cette hauteur soit d'environ 0m025.

L'écran, engagé par sa douille à ressort sur le tube porte-mèche et placé ainsi à 0m01 de distance de l'axe de la flamme, sera élevé en le faisant coulisser sur le tube, de telle sorte que le milieu de la fente horizontale arrive à 0m01 environ au-dessus de l'extrémité du tube porte-mèche. La fente se trouvera ainsi placée à hauteur de la partie la plus lumineuse de la flamme et, en se plaçant normalement à l'écran et à hauteur de la fente, on aperce-

vra une tranche lumineuse de la flamme ayant toute la largeur de celle-ci et une hauteur de 0m004, et, par suite, une surface lumineuse égale à 1/5 de centimètre carré.

1028. Pouvoir éclairant. — M. le général Sébert a comparé la lampe à l'acétate d'amyle à la lampe Carcel, établie dans les conditions fixées par Dumas et Regnault, c'est-à-dire avec une mèche de 0m0235 et brûlant à

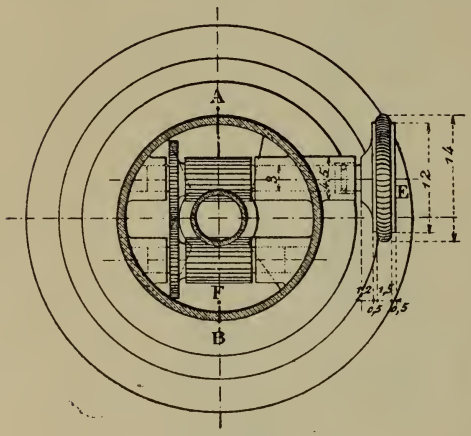


Fig. 710.

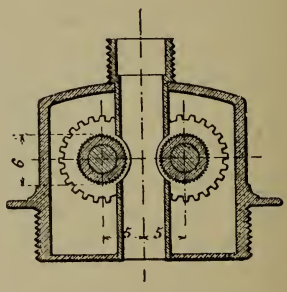


Fig. 711.

l'heure 42 grammes d'huile de colza épurée, avec une flamme de 0m04 de hauteur. La lampe Carcel vaut comme intensité 83 lampes à l'acétate d'amyle avec écran, et 178 bougies, marque *Etoile*, de 5 au paquet.

Les divers essais exécutés avec les bougies montrent que ce mode d'éclairage est peu constant; les variations dans leur pouvoir photogénique, qui sont dues à la combustion des matières entrant dans la constitution des mèches dont la composition est très variable, leur enlèvent toute valeur pour les expériences sur la mesure de la sensibilité des plaques photographiques.

§ 3. — MESURE DE L'ÉCLAIREMENT DES OBJETS PHOTOGRAPHIQUES.

1029. Photomètre de M. Mascart. — Ce photomètre donne la mesure de l'éclairement d'une surface quelconque, rapporté à l'éclairement produit par une source lumineuse portée par l'appareil et prise comme étalon. Le photomètre de M. Mascart, représenté par les *figures* 712 à 716, se compose de deux tubes cylindriques fixés parallèlement et montés sur une poignée qui permet de tenir l'appareil à la main; les deux tubes se trouvent alors dans un plan horizontal et dirigés vers l'objet dont on veut apprécier l'éclairement.

L'un des tubes T forme l'image de cet objet sur un écran en verre dépoli M, on peut l'observer à l'aide d'un oculaire A; l'image est donnée par une

lentille formant objectif, montée à l'extrémité du tube; F est un disque portant des verres de plusieurs couleurs, G un prisme à réflexion totale, H un miroir, K est le tube rentrant de l'objectif, L un diaphragme, J est

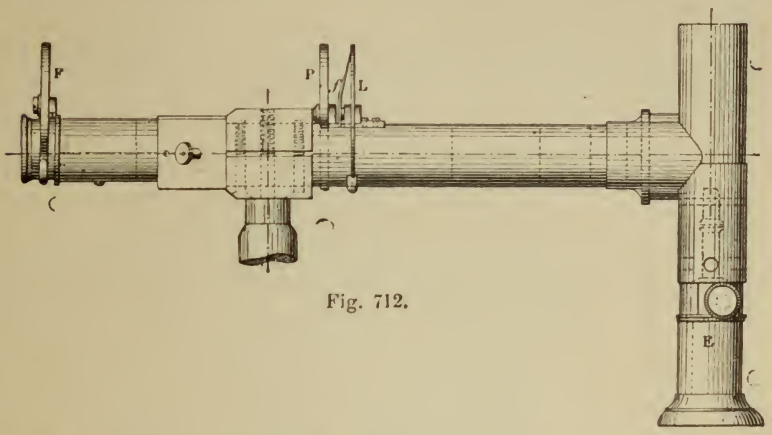


Fig. 712.

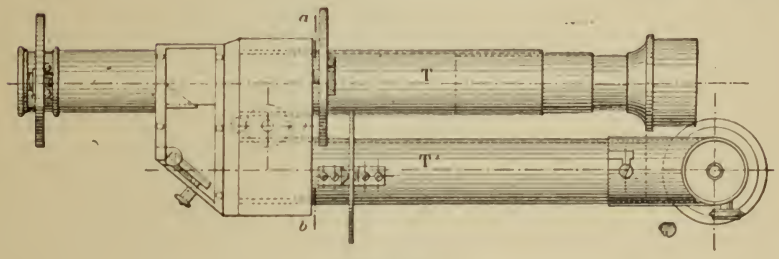


Fig. 713.

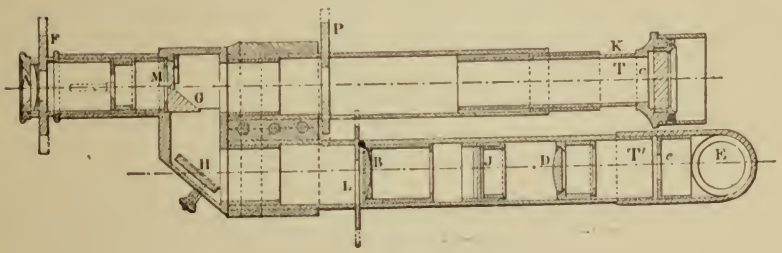


Fig. 714.

un verre dépoli, P est un écran réducteur, constitué par un disque tournant, qui porte enchâssés des verres destinés à éteindre, dans une proportion donnée, les rayons lumineux émis par l'objet observé, lorsque cet objet est trop lumineux pour que l'image de cet objet puisse être amené à égalité avec celle de la lumière étalon par la seule action de l'écran progressif.

Le second tube T′ porte à son extrémité un tube vertical muni d'une douille dans laquelle peut se fixer, par un emmanchement à baïonnette, une lampe à l'acétate d'amyle E, du modèle adopté comme étalon pour les usages photographiques ; l'étendue de la partie agissante de la flamme est limitée au moyen d'un écran placé en avant et qui est percé d'une fente horizontale de 0m0025 de hauteur.

Une seconde lentille placée en B est disposée de façon à venir former l'image de l'écran éclairé J sur l'écran M, qui reçoit déjà l'image de l'objet

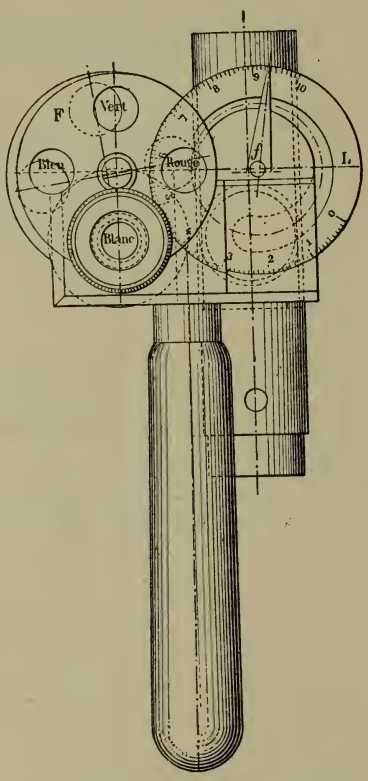


Fig. 715.

dont on veut apprécier l'éclairage. Les rayons lumineux qui ont traversé cette lentille sont, à cet effet, réfléchis par un miroir H, placé à peu près à 45° et dont l'inclinaison peut être légèrement modifiée au moyen d'une vis de réglage et par un prisme G qui couvre la moitié du champ de l'écran M ; on aperçoit ainsi dans l'oculaire A un champ éclairé dont la moitié de gauche est formée par les rayons émanés de l'objet visé, et la moitié de droite par les rayons venant de la lampe. Un disque tournant, placé immédiatement derrière la lentille B, est percé d'une fente circulaire dont la largeur va en croissant régulièrement, de telle sorte que la rotation du

disque dans le sens convenable permet d'étrangler plus ou moins le faisceau lumineux qui a traversé la lentille (*fig. 716*). Une aiguille fine portée par le tube et placée en regard d'une graduation inscrite sur le disque allant de 0 à 10, permet d'évaluer la réduction que l'on fait subir à la section du faisceau éclairant.

Le disque F, placé immédiatement devant l'oculaire, porte des verres enchâssés, colorés en rouge, vert et violet, que l'on peut à volonté amener devant l'œil, de façon à teinter simultanément des mêmes couleurs les deux images à comparer. On peut ainsi faire disparaître les difficultés que l'on éprouve pour juger par comparaison l'intensité lumineuse d'objets diversement colorés.

Pour employer l'appareil à la mesure de l'éclairement propre d'un objet que l'on veut photographier, on met d'abord en place la lampe allumée et l'on règle le tirage de l'oculaire de façon à voir nettement sur l'écran oculaire M l'image du faisceau lumineux envoyé par cette lampe; on

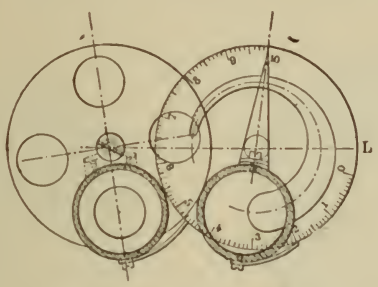


Fig. 716.

dirige alors le tube T sur l'objet à photographier, et l'on règle le tirage du tube de façon à obtenir une image aussi nette et aussi lumineuse que possible de cet objet, les écrans à verre enchassé, P et F, étant disposés de manière à laisser passer librement les rayons de l'image par les ouvertures libres. Si l'image ainsi obtenue n'est pas fortement colorée, au point de rendre la comparaison difficile, et si, comme il doit être, elle est moins intense que l'image de la lampe reçue sans atténuation, c'est-à-dire avec l'écran progressif L placé à la division O, on fait tourner cet écran graduellement, de façon à étrangler peu à peu le faisceau lumineux de la lampe, jusqu'à ce qu'on arrive à l'égalité des images vues par l'oculaire.

La division devant laquelle se trouve placée alors l'aiguille du disque à fente circulaire donne le dénominateur de la fraction dont le numérateur est l'unité, et qui mesure l'intensité lumineuse de l'objet visé par rapport à l'intensité lumineuse de la source employée.

Si l'image donnée par l'objet visé paraît au début plus intense que l'image donnée par la lampe, il faut, avant d'agir sur l'écran progressif, atténuer dans une proportion déterminée l'image de l'objet, ce que l'on fait en interposant sur le trajet des rayons lumineux qui la forment un des verres dépolis de l'écran P.

On prend donc comme intensité lumineuse servant à la comparaison des

images données par les objets visés celle de l'image formée par une surface convenablement délimitée de la lampe à l'acétate d'amyle sur un écran en verre dépoli, cette image étant d'ailleurs transmise à l'écran oculaire par l'intermédiaire de lentilles et de surfaces réfléchissantes qui en atténuent l'éclat.

Pour rapporter les mesures données par l'appareil à une unité d'éclairement déterminée, on devra tarer l'appareil en cherchant la valeur qu'il donne pour la mesure de l'intensité lumineuse émise par la surface représentant l'unité d'éclairement; on pourra prendre, par exemple, pour cette unité l'intensité lumineuse émise normalement par une surface blanchie au sulfate de baryte, éclairée par une lampe Carcel normale placée à 1 mètre de distance. L'appareil, pour cette mesure, serait placé à 1 mètre de distance de la surface lumineuse.

1030. Photomètres divers. — Simonoff[1] a construit un photomètre constitué par une sorte de lorgnette portant des caractères imprimés à l'une des extrémités de l'appareil; on dirige cet instrument vers l'objet à photo-

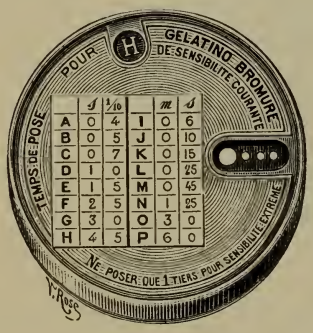


Fig. 717.

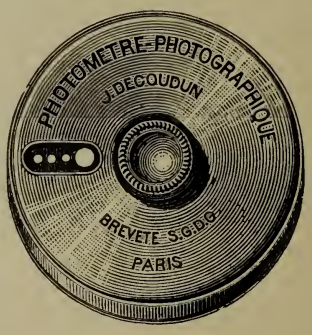


Fig. 718.

graphier et l'on diminue le diaphragme jusqu'à ce que l'on ne puisse pas lire le caractère : la lumière admise est en raison inverse de l'ouverture de ce diaphragme. L. Vidal a modifié cet appareil en y adaptant une échelle d'opacité croissante, obtenue avec des bandes de papier pelure et des chiffres se détachant sur fond noir; on cherche quel est le dernier chiffre visible. Decoudun[2] a mis dans le commerce un appareil basé sur les mêmes principes (*fig. 717*) et dont le fonctionnement est très simple : après avoir mis au point sur la glace dépolie et placé dans l'objectif le diaphragme convenable, on applique sur la glace dépolie un secteur portant trois ouvertures; ce secteur est mobile à l'aide d'un bouton placé au centre de l'appareil; on tourne ce bouton jusqu'à disparition de ces trois points lumineux (*fig. 718*); on regarde alors sur le tableau du fond de l'instrument le temps de pose correspondant à la lettre visible par la petite lucarne ronde. Le photomètre ne doit pas être appliqué au hasard sur le verre dépoli; il faut

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1883, p. 290.
2. *Aide-mémoire de photographie* pour 1888, p. 123.

placer la fenêtre qui éclaire les petits points sur l'endroit le plus intéressant de l'image à reproduire.

Cornetet se sert simplement de verres teintés à travers lesquels il regarde l'image sur le verre dépoli; d'après la teinte plus ou moins foncée du verre qui fait disparaître l'image, le temps de pose doit être moins ou plus considérable.

§ 4. — DÉTERMINATION DE LA SENSIBILITÉ DES PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES.

1031. Emploi d'une échelle de teintes. — La mesure de la sensibilité des plaques photographiques n'est pas susceptible d'être obtenue avec précision dans l'état actuel de la science; telle a été l'opinion adoptée par

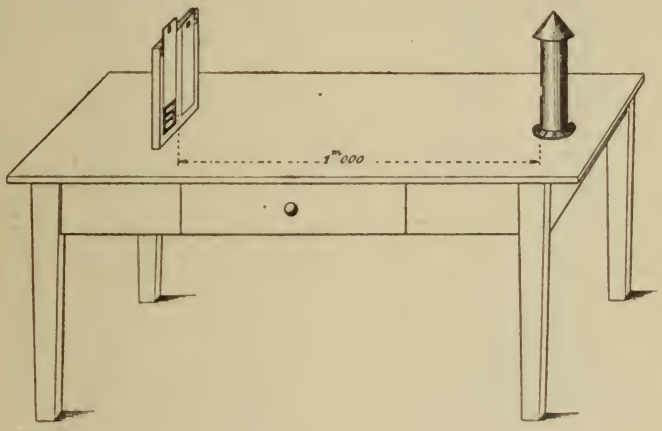


Fig. 719.

le Congrès international de photographie en 1889. Le manque de précision provient des différences d'effets que peuvent produire des modes de développement différents sur des plaques semblables impressionnées de la même façon; cependant on peut, au point de vue pratique, obtenir des résultats satisfaisants, soit en comparant des plaques de même nature développées de la même façon, soit surtout en employant, pour chaque nature de plaque, le procédé spécial qui paraît susceptible de donner avec ces plaques le résultat le plus avantageux.

Les opérations à effectuer pour mesurer la sensibilité des plaques au gélatino-bromure d'argent sont les suivantes : on prend pour mesure de la sensibilité d'une plaque photographique la durée d'exposition nécessaire avec une lumière type agissant dans des conditions bien déterminées et sans interposition d'aucun milieu absorbant, pour produire, après développement, une teinte grise d'un ton convenablement défini, dit *ton normal*. On adopte pour ton normal le ton gris, formé de quantités égales de blanc et de noir que l'on perçoit en faisant tourner rapidement un demi-disque

blanc devant un fond noir[1]. Ce ton peut encore être réalisé en regardant à une distance suffisamment grande pour qu'on ne puisse plus distinguer les hachures, un dessin obtenu en traçant sur un fond blanc et avec de l'encre de Chine ou de l'encre au charbon bien noire une série de hachures bien régulières, espacées d'une distance égale à leur épaisseur.

La lumière étalon est constituée par une lampe à l'acétate d'amyle pourvue d'un écran ne laissant voir qu'une portion de la flamme d'une surface d'un cinquième de centimètre carré, prise dans la partie la plus lumineuse.

Cette lampe est disposée en face de la plaque à éprouve placée dans un

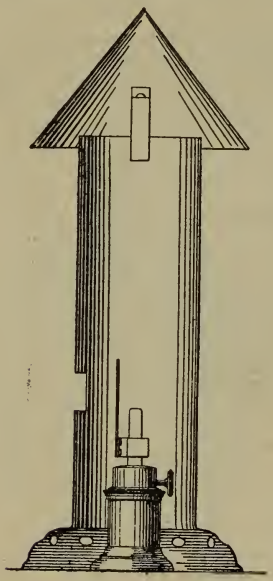


Fig. 720.

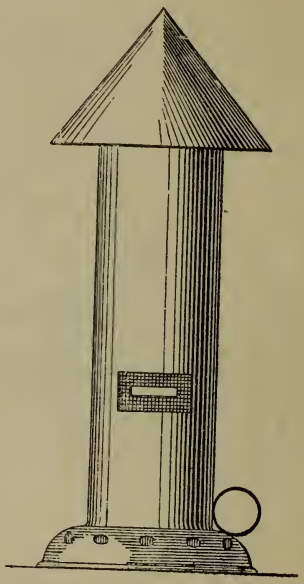


Fig. 721.

châssis spécial, fixé verticalement à une table dans le cabinet noir (*fig. 719*). La lampe à l'acétate d'amyle (*fig. 720*) est allumée, munie de son écran, puis engagée sous une lanterne sourde (*fig. 721*), afin d'éviter les effets de réverbération de la lumière sur les parois de la pièce.

Le châssis dans lequel est contenue la plaque est divisé en deux parties dans le sens de la largeur, et chaque partie est munie d'un volet pouvant se soulever graduellement. Un ressort entrant dans des encoches ménagées sur le côté de chaque volet permet d'arrêter ceux-ci aux positions voulues pour démasquer successivement la plaque sensible par bandes égales au dixième de sa hauteur (*fig. 722*). En soulevant successivement chaque volet, on détermine sur la plaque sensible deux rangées de dix cases égales chacune au $\frac{1}{20}$ de la plaque et qui restent exposées à la lumière pendant des temps différents. La plaque s'introduit dans ce châssis par une porte semblable à celle des châssis à collodion humide (*fig. 723*).

1. Rosenthiel, *Les premiers éléments de la science des couleurs;* Rouen, 1884.

Pour mieux isoler les cases, on place entre la plaque et les rideaux une sorte de grille formée d'une feuille de métal mince portant vingt cases découpées, mesurant chacune 0m040 sur 0m012 et séparées par des cloisons de 0m006 de largeur. Des numéros de I à X sont découpés à jour sur le côté de chacune des séries de cases (*fig. 724*) pour conserver trace de l'ordre dans lequel les cases successives sont exposées à la lumière. Les premières cases démasquées sont celles qui restent le plus longtemps exposées à la lumière.

Employant pour la mesure des temps un pendule battant la seconde, on soulève d'abord le volet de gauche en opérant par mouvement successif et

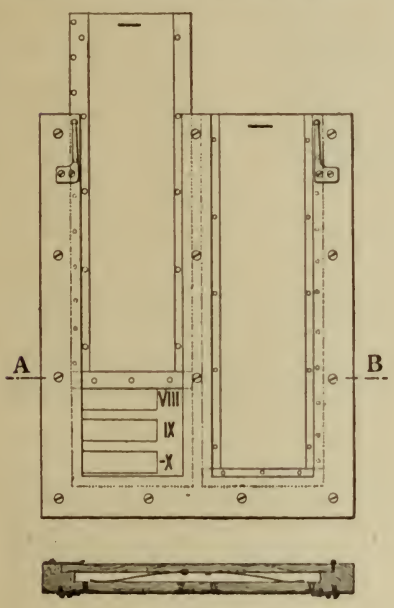


Fig. 722.

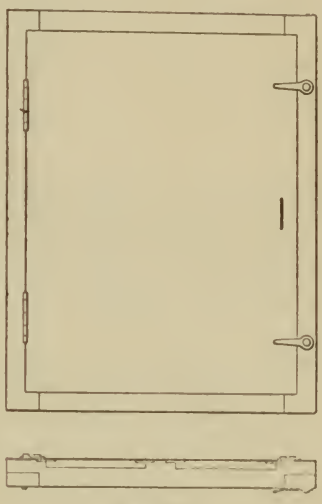


Fig. 723.

s'arrêtant à chacun des crans arrêtés par le ressort, puis, de la même façon, le rideau de droite, en opérant chaque mouvement à intervalles réguliers de trois secondes. La vingtième case étant ainsi démasquée, on retourne brusquement le châssis et on ferme les deux volets. Les cases successives ont ainsi subi chacune, par durées s'ajoutant les unes aux autres, des poses comportant respectivement autant de fois la durée unitaire de trois secondes qu'il y a d'unités dans le numéro d'ordre de ces cases pour la deuxième série, démasquée par le rideau de droite ou dans le double de ce numéro, pour la première série, recouverte par le rideau de gauche.

Après le développement, on cherche la zone qui a pris le ton normal en faisant usage, pour abréger cette recherche, d'une gamme de teintes obtenue par un lavis à l'encre de Chine et présentant des cases de tons variés formant une série en progression arithmétique au-dessus et au-dessous du ton normal.

Ces cases étant percées chacune au centre d'un trou rond, permettent, en procédant par superposition, d'encadrer la teinte à mesurer successivement dans chacune des teintes de la gamme à lui comparer.

Une feuille mince de gélatine colorée permet, s'il est nécessaire, en la pla-

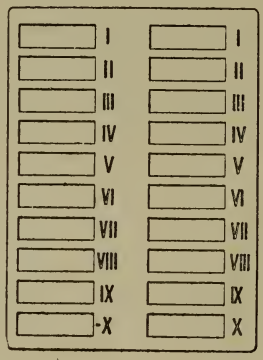


Fig. 724.

çant sur le tout, de faire disparaître les différences de coloration qui pourraient rendre les comparaisons difficiles.

Cette méthode peut être appliquée à des plaques de nature ou de sensibilité différente, en faisant simplement varier dans les limites voulues les temps de pose employés.

1032. Sensitomètre Warnerke. — Les conditions opératoires recommandées par le Congrès de photographie ne sont pas toujours susceptibles d'être reproduites identiques à elles-mêmes ; aussi l'emploi du sensitomètre Warnerke (**423**) est-il quelquefois plus commode. Mais au lieu de se servir de la source lumineuse adoptée par M. Warnerke, le Congrès a conseillé l'emploi de la lampe à l'acétate d'amyle, placée à une distance convenable et pendant un temps à déterminer. Les récents perfectionnements apportés par M. Warnerke à son ingénieux sensitomètre sont tels que, dans bien des circonstances, il sera préférable d'employer ce dernier instrument.

BIBLIOGRAPHIE.

Eder (Dr J.-M.). *Ausfürliches Handbuch der Photographie*, I.

Pector. *Congrès international de photographie*, 1889.

Rosenthiel. *Les premiers éléments de la science des couleurs.*

Violle. *Note sur les expériences effectuées pour la détermination de l'étalon absolu de lumière.*

LIVRE XXX

CHROMOPHOTOGRAPHIE

CHAPITRE I

§ I. — HISTORIQUE.

1033. Action de la lumière sur le chlorure d'argent insolé. — Scheele a observé que le chlorure d'argent prend une teinte rouge brique dans la portion rouge du spectre [1]. Mais c'est seulement en 1810 que Seebeck, d'Iéna, obtint la reproduction d'un spectre en couleurs naturelles sur papier au chlorure d'argent [2]. Herschell, en 1839, reprit ces expériences [3]; il constata que lorsqu'on exposait aux radiations du spectre solaire un papier préparé au chlorure d'argent préalablement noirci à la lumière, ce papier prenait des teintes analogues au rouge, au vert et au bleu. Hunt [4] vérifia les résultats obtenus antérieurement.

Becquerel, au lieu d'employer le chlorure d'argent étendu sur le papier, se servit d'une plaque d'argent qu'il attaquait par immersion dans l'eau chlorée ; il l'exposait aux radiations spectrales et obtenait une faible image qui, par l'action de la lumière, finissait par disparaître. Il constata que pour effectuer cette préparation on peut employer des dissolutions de chlorures, d'hypochlorites, de bichlorure de cuivre : elles réussissent également bien [5]. Plus tard, il employa l'électrolyse [6] de l'acide chlorhydrique. Une lame de plaqué d'argent est suspendue dans de l'eau contenant un cinquième ou un huitième d'acide chlorhydrique ; on fait communiquer cette lame avec le pôle positif d'une pile de deux couples de Bunsen faiblement chargés, et le pôle négatif avec une lame de platine parallèle à la plaque. Le chlore se

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1858, p. 7.
2. *Fortschritte der Photographie*, 1868, p. 20.
3. *Athenæum*, 1839, p. 621.
4. *Bibliothèque universelle de Genève*, XXVI, p. 407.
5. *Comptes rendus*, 7 février 1848.
6. *Annales de chimie et de physique* (3), XXV, p. 447.

porte sur la lame et forme un chlorure dont la nuance varie avec l'épaisseur. On arrête l'opération quand la couleur observée au moyen d'une faible lumière paraît pour la seconde fois d'un violet rose. La plaque est alors exposée à l'action du spectre solaire ; on voit apparaître les couleurs en commençant par l'orange et le rouge. Les nuances sont d'abord pures, mais faibles, puis elles s'accentuent, mais en même temps s'assombrissent : le bleu, l'indigo et le violet sont celles qui présentent le plus d'éclat ; avec excès d'insolation, les couleurs disparaissent ; ce n'est donc pas un phénomène d'anneaux colorés qui se produit, comme on l'avait prétendu.

Si l'on recuit la plaque dans l'obscurité pendant quelques minutes à une température de 80 à 100°, ce qui lui donne une couleur d'un brun rosé, le spectre s'y imprime avec des nuances vives et claires. En insolant la plaque pendant quinze à trente minutes sous un verre rouge elle donne une impression plus belle, surtout dans le vert et dans le jaune. Les images obtenues ne s'altèrent pas dans l'obscurité.

On peut préparer du chlorure d'argent violet d'après le procédé de Vetzlar [1] : on prend de l'argent précipité à l'état de division extrême et on le mélange avec du bichlorure de cuivre ; on obtient alors une matière de couleur violacée, mais elle ne manifeste que des effets de coloration peu marqués.

La sensibilité de la couche de chlorure d'argent aux diverses radiations dépend de son épaisseur et de la concentration de la solution chlorurante. L'argent ne doit pas contenir plus de 10 % de cuivre, comme l'a constaté Niepce de Saint-Victor. Le chlorure de cuivre, d'après cet observateur, communique plus de vivacité que l'eau de chlore seule. En employant l'eau de chlore très étendue, on favorise surtout la reproduction du jaune ; la dissolution de chlore très concentré donne par contre l'orange et le rouge avec beaucoup d'intensité ; l'emploi d'un mélange de chlorure de magnésium et de sulfate de cuivre est recommandable.

La chloruration effectuée au moyen du chlorure de chaux n'a pas donné à Niepce de résultats aussi constants que ceux que l'on obtient en chlorurant à l'aide de l'électrolyse. La sensibilité d'une plaque d'argent préparée est fortement excitée lorsqu'on la recouvre avant l'exposition d'une solution saturée de chlorure de plomb dans la dextrine. Sur des couches de ce genre, on obtient toujours des images positives, c'est-à-dire que les lignes noires d'une gravure sur cuivre sont reproduites en noir [2]. Niepce de Saint-Victor produisait les noirs soit en faisant agir sur le chlorure d'argent un liquide très alcalin, soit en faisant agir sur la plaque sensible deux couleurs complémentaires [3].

On a obtenu sur couche de collodion au chlorure d'argent des images colorées ; les couleurs apparaissent après le fixage au cyanure de potassium et lorsqu'on fait agir le chlorure d'iode [4]. Warthon Simpson a employé l'émulsion au collodio-chlorure d'argent pour obtenir des images chromophotographiques ; la couche était d'abord exposée à la lumière jusqu'à ce

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1858, p. 7.
2. *Comptes rendus*, 1862, LIV, pp. 280, 299.
3. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1857, p. 116.
4. *Phot. News*, 16 février 1866.

qu'elle soit passée à la teinte violette [1]. L'émulsion préparée avec un léger excès de nitrate d'argent et d'acide citrique se colore en gris ardoise sous l'influence de la lumière; sous un verre rouge rubis elle devient rouge; sous le vert d'aniline elle devient verte.

Le chlorure d'argent sur papier devient franchement violet dans l'ultra-violet. En présence d'un excès de nitrate d'argent il ne noircit que dans l'ultra-violet; mais si, comme l'a observé Becquerel [2], on l'a exposé préalablement à la lumière diffuse, il est aussi sensible à la partie visible du spectre, et cela depuis le rouge jusqu'au bleu. En ajoutant au chlorure d'argent des sels riches en oxygène, il donne sur papier de meilleures images.

Poitevin [3] se sert d'une couche de chlorure d'argent violet étendue à la surface du papier; sur cette couche il applique au pinceau un liquide formé de 1 volume de dissolution aqueuse à 5 % de bichromate de potasse, 1 volume de dissolution aqueuse saturée de sulfate de cuivre et 1 volume de dissolution à 5 % de chlorure de potassium; on sèche et on conserve à l'abri de la lumière. Ce papier est plus sensible à l'état humide qu'à l'état sec. Lorsque l'image a été obtenue, on la lave à l'eau faiblement acidulée par l'acide chromique, puis à l'eau renfermant du bichlorure de mercure et enfin du nitrate de plomb, on termine par un lavage à l'eau pure; par ce moyen les épreuves se conservent pendant un temps assez long.

Plus tard [4], Poitevin indiqua le procédé suivant : il recouvrait le papier ordinaire d'un mélange fait à parties égales avec une solution de bichromate de potasse à saturation et de sulfate de cuivre à 10 %; il faisait sécher ce papier, le lavait, et dans la dernière eau de lavage ajoutait de l'acide chlorhydrique : il obtenait ainsi du chlorure d'argent blanc. Pour le faire passer au violet, il versait dans une cuvette une dissolution de protochlorure d'étain à 5 %, il exposait à la lumière la feuille placée dans ce bain : la surface prenait une couleur violet foncé. A ce moment, on arrêtait l'action de la lumière. Le papier était ensuite lavé, séché dans l'obscurité, puis exposé à l'action du spectre solaire. Pour empêcher l'image de s'altérer sous l'action de la lumière, il la fixait soit par l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, soit par une dissolution très diluée de bichlorure de mercure additionné d'acide sulfurique.

Niepce de Saint-Victor [5], après avoir chloruré une plaque d'argent polie, la plonge dans un bain contenant 0gr50 de soude à l'alcool pour 100 c. c. d'eau et y ajoute un peu de chlorure de sodium. On porte ce liquide à la température de 60° C., on laisse la plaque pendant quelques secondes dans ce bain, on la rince à grande eau, on la recuit jusqu'à ce que l'on obtienne la teinte d'un bleu violacé; on couvre la plaque d'un vernis à la dextrine et au chlorure de plomb, on l'expose à la lumière : les noirs se reproduisent sur les plaques ainsi préparées.

Paage [6] employait le collodion étendu sur papier. Après avoir transformé

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1865, p. 288.
2. *Comptes rendus*, 1868.
3. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1866, p. 14.
4. *Ibid.*, p. 318.
5. *Comptes rendus*, 1866.
6. *Philadelphia Photographer*, août 1887.

le chlorure d'argent blanc en chlorure violet par l'action de la lumière, il l'humectait soit d'acide chlorhydrique, soit de bichlorure de mercure, et l'exposait aux diverses radiations colorées.

Ces divers procédés sont basés sur l'action de la lumière sur le composé violet constitué par le chlore et l'argent, composé que l'on a appelé *sous-chlorure d'argent.*

Van Monckhoven[1] a indiqué le procédé suivant pour le préparer : on décompose dans un large tube de verre entouré d'eau bouillante du citrate d'argent obtenu par double décomposition entre le nitrate d'argent et le citrate d'ammoniaque; pendant que le citrate d'argent est ainsi porté à la température de 100°, on fait passer dans le tube un courant d'hydrogène. Le citrate d'argent devient violet foncé; on le dissout dans une grande quantité d'eau, on filtre et on précipite par la potasse : on a ainsi du sous-oxyde d'argent noir. On soumet ce corps à l'action d'un courant d'acide chlorhydrique, il se forme du sous-chlorure d'argent violet que l'on abandonne pendant plusieurs jours à l'air dans l'obscurité pour faire disparaître l'excès d'acide chlorhydrique. Le produit obtenu exposé aux diverses radiations du spectre peut se teinter de diverses nuances. Au lieu de préparer le sous-chlorure d'argent par ce procédé, on peut, d'après Rose, précipiter une solution de nitrate d'argent par une dissolution d'antimonite de potasse. Le précipité est formé d'oxyde soluble dans l'ammoniaque et de sous-oxyde insoluble. On traite ce mélange par l'ammoniaque pour dissoudre l'oxyde et il reste sur le filtre du sous-oxyde presque pur[2]; on le transforme ensuite en chlorure d'argent violet.

Ces divers procédés ont permis d'obtenir des images chromophotographiques. Mais on n'est point encore parvenu à fixer les couleurs; toutes les dissolutions que l'on a essayé font disparaître la couleur et ne laissent qu'une image en noir. On a observé depuis longtemps que l'on pouvait empêcher l'action des radiations ultra-violettes en employant un écran formé d'une dissolution de sulfate de quinine interposé sur le trajet de ces radiations. Un vernis préparé au sulfate de quinine permet de conserver les épreuves pendant un certain temps.

§ 2. — PROCÉDÉS USUELS.

1034. Procédés de M. de Saint-Florent. — Le premier procédé indiqué par M. de Saint-Florent[3] consiste à plonger le papier dans une dissolution contenant 20 grammes de nitrate d'argent, 20 c. c. d'eau, 100 c. c. d'alcool et 100 c. c. d'acide azotique. Le papier est séché, puis immergé dans un bain formé de : acide chlorhydrique, 50 c. c.; alcool, 50 c. c.; nitrate d'urane, 1 gramme; on fait dissoudre au préalable un peu d'oxyde de zinc dans l'acide chlorhydrique. Au sortir de ce bain, on expose le papier à la lumière solaire jusqu'à ce que l'on obtienne la teinte verte, on sèche le

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1859, p. 325.
2. *British Journal of Photography*, 13 août 1869.
3. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1873, p. 228; 1874, pp. 55, 72, 103.

papier et on recommence la même série d'immersions dans le bain de nitrate d'argent, puis dans celui d'acide chlorhydrique jusqu'à ce que le papier prenne une teinte d'un violet bleu très intense; après la dernière immersion et avant qu'il soit sec, on l'immerge pendant dix minutes dans un bain contenant 100 c. c. d'eau et 4 à 5 gouttes de nitrate acide de mercure, on le sèche ensuite à l'aide de papier buvard. Si l'on ajoute à ce dernier bain 2 c. c. d'une solution saturée de bichromate de potasse, 2 c. c. d'acide sulfurique et 1 gramme de chlorate de potasse, on obtient des couleurs bien plus vives. Après exposition à la lumière, on peut faire le fixage avec un bain contenant 5 c. c. d'ammoniaque et 100 c. c. d'alcool, on lave et on place la feuille dans un bain saturé d'un chlorure alcalin, on lave de nouveau et on fait sécher. Le fixage n'est jamais complet; les fixateurs connus font rapidement disparaître l'image.

En vernissant les épreuves ou les recouvrant de gélatine ou d'albumine, les images se conservent plus longtemps.

M. de Saint-Florent a observé que des épreuves obtenues avec le nitrate de mercure et non lavées avaient disparu spontanément en les immergeant pendant plusieurs heures dans un bain concentré de chlorhydrate d'ammoniaque. L'image s'est progressivement revivifiée en la soumettant aux couleurs complémentaires des teintes primitives : les images obtenues sont plus stables que les images primitives; d'autres réactifs produisent des effets analogues.

Les rayons les moins réfrangibles semblent hâter l'oxydation du sous-chlorure violet; ils sont même capables de la produire seuls, car par une très longue exposition à la lumière du chlorure d'argent ordinaire, on peut produire des épreuves chromophotographiques.

M. de Saint-Florent[1] a étudié la production des images en couleur à l'aide du procédé au collodio-chlorure ou de celui au gélatino-chlorure. On verse l'émulsion au collodio-chlorure sur du papier ou du carton, et dès qu'elle a fait prise, on l'expose tout humide à la lumière jusqu'à la teinte rouge violacé foncé. Les cartons ainsi préparés se gardent longtemps à l'abri de la lumière ou de l'humidité; on les recouvre ensuite d'une émulsion au gélatino-chlorure d'argent, à l'acide acétique et à l'alcool, on expose la couche à la lumière pendant quelques minutes, puis l'on expose derrière le sujet à reproduire dès que le carton est sec.

On peut aussi employer le papier préparé avec le sous-oxyde d'argent. On plonge du papier ordinaire dans une solution aqueuse de nitrate d'argent à 10 %, on fait sécher la feuille, puis on la plonge dans une solution de potasse caustique pure. La feuille non lavée est exposée à la lumière diffuse jusqu'à ce que sa couleur brun clair passe au brun foncé; il ne faut pas pousser jusqu'au noir parce que le papier ne reproduirait plus les couleurs, on laisse sécher, et le papier ainsi préparé peut reproduire les couleurs.

Quel que soit le procédé employé, les images ne tardent pas à s'altérer si on les expose au jour. Vallot a proposé récemment de les recouvrir d'un vernis contenant du sulfate de quinine. Dans ces conditions, l'altération est moins rapide. Les couches de chlorure d'argent violet sont trop peu sensibles pour permettre de les employer par impressionnement dans la

1. *Bulletin de la Société française de photographie*, 1882, p. 18.

chambre noire, elles servent pour obtenir par phototirage la reproduction d'images colorées ou pour reproduire le spectre solaire.

§ 3. — PROCÉDÉS INDIRECTS.

1035. Procédés de Cros et de Ducos du Hauron. — Ces procédés ne sont pas des procédés chromophotographiques, car l'image en couleur n'est pas obtenue directement. Les moyens proposés par Cros [1] et par Ducos du Hauron [2] sont basés sur la production de trois négatifs dits monochromes, obtenus par les procédés orthochromatiques et des verres de couleur appropriés, qui fournissent des positifs colorés, également monochromes, dont la superposition doit rendre l'image avec ses couleurs naturelles. Pour satisfaire aux conditions théoriques du problème, il faudrait que les couleurs employées dans les positifs eussent exactement le même spectre d'absorption que les verres colorés d'une part, et d'autre part que la sensibilité des glaces fût en rapport exact avec la proportion des rayons transmis, ce qu'il est à peu près impossible de réaliser. Vogel a conseillé d'employer pour obtenir chaque négatif des sensibilisateurs différents pour chaque région du spectre; lorsqu'on a ainsi obtenu trois négatifs destinés à fournir les trois positifs monochromes, on repère exactement les trois images par les procédés usités en photochromographie.

BIBLIOGRAPHIE

BECQUEREL. *La Lumière.*
DAVANNE. *La Photographie*, t. II.
EDER. *Ausfürliches Handbuch der Photographie*, I.

1. Pli cacheté déposé à l'Académie des sciences le 2 décembre 1867.
2. Brevet du 23 novembre 1868.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

DU QUATRIÈME VOLUME.

LIVRES XXIII ET XXIV.

AGRANDISSEMENTS ET PROJECTIONS.

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS.

§ 1. — *Définitions.*

808. Épreuves de grandes dimensions, p. 5. — **809.** Images transparentes, images opaques, p. 6.

§ 2. — *Des images destinées à l'agrandissement.*

810. Qualité de l'image, p. 7. — **811.** Insuccès, p. 8.

§ 3. — *Divers procédés d'agrandissement.*

812. Procédé direct, p. 9. — **813.** Procédé indirect, p. 9. — **814.** Éclairage de l'épreuve originale, p. 9.

CHAPITRE II.

PROCÉDÉ DIRECT.

§ 1. — *Matériel.*

815. Chambre solaire à éclairage convergent, p. 11. — **816.** Modifications de la chambre solaire, p. 13. — **817.** Appareil dialytique, p. 14. — **818.** Appareil installé pour le travail pendant l'hiver, p. 20. — **819.** Chambres solaires sans réflecteur, p. 21. — **820.** Appareils à lumière solaire parallèle, p. 22. — **821.** Essai des appareils d'agrandissement, p. 26.

§ 2. — *Procédé par développement.*

822. Procédés photographiques, p. 27. — **823.** Emploi du papier au gélatino-bromure d'argent, p. 28.

§ 3. — *Procédé par noircissement direct.*

824. Emploi du papier albuminé, p. 29. — **825.** Agrandissement sur toile à peindre, p. 29.

§ 4. — *Agrandissement par procédé au charbon.*

826. Insolation, p. 30.

CHAPITRE III.

PROCÉDÉ INDIRECT.

§ 1. — *Emploi d'un grand négatif.*

827. Méthode générale, p. 31. — **828.** Emploi de la chambre noire, p. 31. — **829.** Production du positif, p. 35. — **830.** Amplification du positif, p. 36.

§ 2. — *Emploi d'un grand positif.*

831. Procédé Carette, p. 36. — **832.** Procédés divers, p. 37.

§ 3. — *Agrandissement des objets opaques.*

833. Agrandissement des positives sur papier, p. 40. — **834.** Eclairage de l'objet, p. 40. — **835.** Chambre noire, p. 41. — **836.** Objectif, p. 41. — **837.** Procédé opératoire, p. 42.

CHAPITRE IV.

AGRANDISSEMENTS A LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE.

§ 1. — *Appareils.*

838. Eclairage au pétrole, p. 44. — **839.** Eclairage électrique, p. 46. — **840.** Eclairage oxhydrique, p. 47. — **841.** Autres modes d'éclairage, p. 50.

§ 2. — *Maniement des appareils.*

842. Centrage de la source lumineuse, p. 51. — **843.** Emploi du pétrole, p. 53. — **844.** Emploi de la lumière oxhydrique, p. 53. — **845.** Emploi de la lumière électrique, p. 57.

§ 3. — *Procédés photographiques à employer.*

846. Emploi du gélatino-bromure, p. 58. — **847.** Epreuves directes, p. 58. — **848.** Epreuves par voie indirecte, p. 59. — **849.** Procédés divers, p. 59.

CHAPITRE V.

DES PROJECTIONS.

§ 1. — *Matériel.*

850. Appareils de projections, p. 61. — **851.** Disposition de l'écran, p. 64. — **852.** Maniement de l'appareil de projection, p. 67. — **853.** Appareil à projection double; polyorama, p. 67. — **854.** Projection des corps opaques, p. 69.

§ 2. — *Des images pour projections.*

855. Transparentes pour projections, p. 70. — **856.** Procédés photographiques à employer, p. 72. — **857.** Montage des épreuves, p. 74.

CHAPITRE VI.

RÉDUCTIONS, PHOTOMICROGRAPHIE.

§ 1. — *Réductions.*

858. Réductions, p. 76. — **859.** Applications à l'envoi des dépêches, p. 77.

§ 2. — *Photomicrographie.*

860. Procédé industriel, p. 79.

LIVRE XXV.

IMAGES DITES INSTANTANÉES.

CHAPITRE PREMIER.

§ 1. — *Matériel.*

861. Obturateurs, objectifs, p. 84. — **862.** Chambres noires, p. 86. — **863.** Appareils automatiques, p. 88.

§ 2. — *Procédé opératoire.*

864. Choix du sujet, p. 90. — **865.** Temps de pose, p. 93. — **866.** Développement, p. 94. — **867.** Négatifs défectueux, p. 96.

LIVRE XXVI.

DU STÉRÉOSCOPE.

CHAPITRE PREMIER.

§ 1. — *Matériel.*

866. Historique, p. 98. — **867.** Chambres stéréoscopiques, p. 99. — **868.** Objectifs, p. 102.

§ 2. — *Procédés opératoires.*

869. Production du phototype négatif, p. 103. — **870.** Impression des positives sur papier, p. 103. — **871.** Impression des positives sur verre, p. 104. — **872.** Retouche, p. 106. — **873.** Procédés divers; examen des images, p. 107.

LIVRE XXVII.

APPLICATIONS SCIENTIFIQUES DE LA PHOTOGRAPHIE.

CHAPITRE PREMIER.

MICROPHOTOGRAPHIE.

§ 1. — *Appareils de microphotographie.*

874. Du microscope, p. 111. — **875.** Partie mécanique, p. 111. — **876.** Partie optique, les objectifs, p. 117. — **877.** Oculaires, p. 122. — **878.** Amplificateur, p. 125. — **879.** Condensateurs, p. 125. — **880.** Bancs optiques, p. 129. **881.** Chambres noires : appareils complets, p. 131. — **882.** Appareils spéciaux, p. 139.

§ 2. — *Sources de lumière.*

883. Lumière solaire, p. 144. — **884.** Lumière électrique, p. 152. — **885.** Lampes à pétrole, p. 153. — **886.** Lampes à gaz, p. 154. — **887.** Lumière Drumond, p. 154. — **888.** Lumière du magnésium, p. 156. — **889.** Intensité relative des diverses sources de lumière, p. 156. — **890.** Emploi de la lumière monochromatique, p. 157. — **891.** Liquides colorés, p. 159. — **892.** Verres colorés, p. 160. — **893.** Emploi des écrans colorés, p. 160.

§ 3. — *Procédés opératoires.*

894. Opérations à effectuer, p. 161. — **895.** Eclairage de l'objet, p. 161. — **896.** Projection de l'image, p. 165. — **837.** Emploi des divers appareils

d'éclairage, p. 166. — **898**. Eclairage des corps opaques, p. 168. — **899**. Emploi de la lumière oblique, p. 170. — **900**. Emploi de la lumière polarisée, p. 173. — **901**. Microspectroscopie, p. 173. — **902**. Images stéréoscopiques, p. 174. — **903**. Procédés divers, p. 177. — **904**. Opérations photographiques, p. 177. — **905**. Réglage des appareils, p. 178. — **906**. Grossissement, p. 181. — **907**. Agrandissement de l'image, p. 183. — **908**. Choix des préparations à photographier, p. 185. — **909**. Projection des photomicrographies, p. 185.

§ 4. — *Applications diverses.*

910. Historique, p. 186. — **911**. Application de la photomicrographie, p. 187.

CHAPITRE II.

PHOTOGRAPHIE ASTRONOMIQUE.

912. Applications de la photographie à l'astronomie, p 195.

§ 1. — *Photographie des étoiles.*

913. Confection de la carte du ciel, p. 195. — **914**. Mesure des épreuves, p. 199. — **915**. Décisions du Congrès de 1889, p. 201. — **916**. Choix de l'objectif, p. 203. — **917**. Mesure de la grandeur des étoiles, p. 206. — **918**. Photographie des étoiles multiples, des amas, des nébuleuses, p. 206. — **919**. Historique, p. 208.

§ 2. — *Héliophotographie.*

920. Méthode de Janssen, p. 210. — **921**. Méthode de M. Laussedat, p. 212. — **922**. Historique, p. 213.

§ 3. — *Sélénéphotographie.*

923. Procédés opératoires, p. 216. — **924**. Applications diverses, p. 217. — **925**. Historique, p. 218.

§ 4. — *Photographie des éclipses.*

926. Éclipses de soleil, p. 222. — **927**. Éclipses de lune, p. 223. — **928**. Historique, p. 223.

§ 5. — *Photographie des planètes.*

929. Procédé opératoire, p. 229. — **930**. Historique, p. 231.

§ 6. — *Photographie des comètes.*

931. Procédés à employer, p. 232. — **932**. Historique, p. 232.

§ 7. *Spectrophotographie astronomique.*

933. Disposition des appareils; méthode Draper, p. 233. — **934**. Méthode d'Huggins et de A. Miller, p. 234. — **935**. Méthode de E.-C. Pickering, p. 325. — **936**. Méthode de M. Deslandres, p. 236. — **937**. Historique, p. 238.

§ 8. — *Applications diverses.*

938. Photographies du passage de Vénus sur le Soleil, p. 239. — **939**. Enregistrement d'un passage du Soleil au méridien, p. 241. — **940**. Accroissement de l'image photographique, p. 242. — **941**. Emploi des objectifs catadioptriques, p. 244. — **942**. Emploi des plaques phosphorescentes, p. 244.

CHAPITRE III.

APPLICATION AU LEVER DES PLANS.

§ 1. — *Méthode de M. Laussedat.*

943. Matériel, p. 246. — **944**. Principe de la méthode, p. 247. — **945**. Opérations à effectuer, p. 249. — **946**. Modifications de Javary, p. 252. — **947**. Degré de précision de la méthode, p. 253. — **948**. Photogrammétrie, p. 254. — **949**. Lever des monuments, p. 255.

§ 2. — *Photographies sur plaques courbes.*

950. Inconvénients que présente la photographie plane, p. 258. — **951**. Photographie cylindrique, p. 260. — **952**. Cylindrographe topographique, p. 261. — **953**. Autres procédés, p. 263. — **954**. Emploi de la topophotographie, p. 264.

§ 3. — *Procédés divers.*

955. Photographie à longue distance, p. 265. — **956**. Photographie en ballon, p. 266. — **957**. Photographie aérienne par cerf-volant, p. 268. — **958**. Appareil à fusée volante, p. 270.

CHAPITRE IV.

CHRONOPHOTOGRAPHIE.

§ 1. — *Applications à la physiologie.*

959. Méthodes d'observations, p. 272. — **960**. Procédé de Muybridge, p. 272. — **961**. Procédés de M. Marey, p. 273. — **962**. Procédés de M. A. Londe, p. 278. — **963**. Procédé de M. le général Sébert, p. 279. — **964**. Procédé de Anschütz, p. 281.

CHAPITRE V.

APPLICATIONS A LA PHYSIQUE, A LA MÉTÉOROLOGIE ET AUX SCIENCES NATURELLES.

965. Procédés à employer, p. 282.

§ 1. — *Phénomènes mécaniques.*

966. Photographie des projectiles pendant le tir, p. 282. — **967**. Photographie de la veine liquide, p. 285.

§ 2. — *Phénomènes calorifiques ; météorologie.*

968. Mesure des dilatations, p. 286. — **969**. Mesure des températures, p. 286. — **970**. Enregistrement des oscillations de la colonne du baromètre, p. 287. — **971**. Photographie des nuages, p. 288.

§ 3. — *Phénomènes électriques.*

972. Électromètre enregistreur, p. 288. — **973**. Photographie de l'étincelle électrique, p. 289. — **974**. Photographie d'éclairs, p. 290. — **975**. Enregistrement des phénomènes magnétiques, p. 291.

§ 4. — *Phénomènes optiques.*

976. Photographie du spectre ultra-violet, p. 293. — **977**. Photographies diverses, p. 299. — **978**. Applications diverses, p. 299.

§ 5. — *Sciences naturelles.*

979. Zoologie, p. 301. — **980.** Botanique, p. 302. — **981.** Géologie, p. 303.

§ 6. — *Applications diverses.*

982. Applications à l'art de l'ingénieur, p. 304. — **983.** Photographie des gestes, p. 305. — **984.** Photographie judiciaire, p. 306. — **985** Photographie des manuscrits, p. 307. — **986.** Photographie des dépêches, p. 308. — **987.** Enregistrement de la course des navires, p. 309. — **988.** Application à l'instruction des sourds et muets, p. 309.

LIVRE XXVIII.

DES ACTIONS CHIMIQUES DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

§ 1. — *Généralités.*

989. La lumière, p. 311. — **990.** Modifications d'états produites par la lumière, p. 311. — **991.** Combinaisons produites par la lumière, p. 312. — **992.** Décomposition de diverses substances, p. 313. — **993.** Influence de la température, p. 317.

§ 2. — *Développement de l'image latente.*

994. Image latente, p. 317. — **995.** Hypothèse chimique, p. 318. — **996.** Hypothèse dynamique, p. 318. — **997.** Hypothèses diverses, p. 319. — **998.** Action des divers révélateurs, p. 323.

§ 3. — *Action des diverses radiations.*

999. Spectre solaire, p. 324. — **1000.** Persistance de l'action lumineuse, p. 326. — **1001.** De la solarisation, p. 327. — **1002.** Appareils permettant d'étudier l'action photographique des diverses radiations, p. 329. — **1003.** Actions diverses de la lumière colorée, p. 332. — **1004.** Action de la lumière sur les sels d'argent, p. 335.

§ 4. — *Images par divers procédés.*

1005. Phosphorographie, p. 338. — **1006.** Images de Moser; thermographie, p. 339. — **1007.** Electrographie, p. 340.

§ 5. — *Irradiation photographique.*

1008. Phénomène de l'irradiation, p. 341. — **1009.** Recherches de M. Cornu, p. 345.

§ 6. — *Variations de l'intensité lumineuse.*

1010. Intensité de la lumière solaire, p. 346.

CHAPITRE II.

PHOTOMÉTRIE.

§ 1. — *Généralités.*

1011. Mesure des actions chimiques de la lumière, p. 347. — **1012.** Historique, p. 349.

§ 2. — *Photomètres à gaz.*

1013. Principe de l'appareil, p. 350.

§ 3. — *Photomètres à dégagement de gaz.*

1014. Emploi des oxalates, p. 350. — **1015**. Emploi de l'iodure d'azote, p. 352.

§ 4. — *Photomètres basés sur diverses réactions chimiques.*

1016. Sels de mercure, p. 352. — **1017**. Réactions diverses, p. 353.

§ 5. — *Photomètres usuels.*

1018. Photomètres au chlorure d'argent, p. 354. — **1019**. Photomètre à échelles, p. 356. — **1020**. Photomètre à tubes, p. 357.

§ 6. — *Photomètre à phosphorescence.*

1021. Photomètre de Warnerke, p. 357.

§ 7. — *Photomètres électriques.*

1022. Actinomètre électro-chimique de Becquerel, p. 358. — **1023**. Photomètre d'Egoroff, p. 358. — **1024**. Photomètres divers, p. 358.

CHAPITRE III.

UNITÉ DE LUMIÈRE ADOPTÉE EN PHOTOGRAPHIE.

§ 1. — *Généralités.*

1025. Utilité d'une unité fixe de lumière, p. 358. — **1026**. Procédés proposés, p. 360.

§ 2. — *Lampe à l'acétate d'amyle.*

1027. Description de la lampe, p. 362. — **1028**. Pouvoir éclairant, p. 364.

§ 3. — *Mesure de l'éclairement des objets photographiques.*

1029. Photomètre de M. Mascart, p. 364. — **1030**. Photomètres divers, p. 368.

§ 4. — *Détermination de la sensibilité des plaques photographiques.*

1031. Emploi d'une échelle de teintes, p. 369. — **1032**. Sensitomètre Warnerke, p. 372.

LIVRE XXIX.

CHROMOPHOTOGRAPHIE.

CHAPITRE PREMIER.

§ 1. — *Historique.*

1033. Action de la lumière sur le chlorure d'argent insolé, p. 373.

§ 2. — *Procédés usuels.*

1034. Procédés de M. de Saint-Florent, p. 376.

§ 3. — *Procédés indirects.*

1035. Procédés de Cros et de Ducos du Hauron, p. 378.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

DES QUATRE VOLUMES.

Aberration chromatique, I, 61; de sphéricité, 53, 55; d'épaisseur, 55.
Abri pour objectif, I, 463.
Accélérateur, II, 67.
Achromatisme, I, 354.
Acier (gravure sur), I, 19.
Actiniques (rayons), I, 9.
Actinomètre, IV, 358.
Action chimique de la lumière, I, 8; IV, 311, 355.
Adapteur Molténi, I, 313; Franck; 315; pour microscopes, IV, 163.
Affaiblissants, II, 296.
Agrandissements, IV, 5; procédés, 9; par lumière parallèle, 23; procédé indirect, 31; des positives sur papier, 41; à la lumière artificielle, 44.
Albertypie, I, 21.
Albuminé (papier), III, 30.
Albumine (procédés), I, 14; Niepce, II, 28; sur collodion, 37; Taupenot, 146.
Alcool, II, 57.
Allonge de chambre noire, I, 290.
Alpiniste, I, 244.
Altération des épreuves, III, 84.
Alunage, II, 288.
Amas d'étoiles, IV, 206.
Ambrotypes, III, 12.
Amidon (procédé), II, 34.
Ammoniaque, II, 154.
Amphipositives, II, 132.
Amplificateur, IV, 125.
Anallatiques (objectifs), I, 135.
Anastigmat, IV, 85.
Aplanat, I, 111; grand angulaire, 92; reproductions, 93; paysages, 115; groupes portraits, 116.
Aplanétiques, I, 111; extra-rapides, 121; définition, 402.
Apochromatiques, IV, 85, 119.
Appareils panoramiques, *voir* Chambres.
Applications scientifiques, I, 22; aux sciences naturelles, IV, 301.
Appui-tête, I, 456.
Asphalte, I, 19.
Astigmation, I, 58.
Astrophotographie, IV, 195.
Ateliers, I, 141; vitré, 442; pour reproductions, 445, 463; modifications, 448;
Auréoles, II, 167; *voir* halo.
Autopolygraphe Vidal, I, 250.
Avant-plan de l'infini, I, 430.
Axe optique, I, 331.
Bain-marie, II, 246.
Bain de nitrate d'argent, II, 81; altérations, 84; insuccès, 128.
Balances, I, 447.
Ballons, I, 489.
Banc optique, IV, 129, 130.
Bascules, I, 221; IV, 176.
Baume du Canada, I, 45.
Bichlorure de mercure, II, 112.
Bichromates alcalins, I, 18.
Binoculaire, *voir* Stéréoscope.
Bitume de Judée, I, 10; III, 258, 334.
Boîtes à glaces, I, 482; à escamoter, 290.
Bristols, III, 72.
Bromures, II, 63, 197, 211.
Bromure d'argent, II, 209.
Cabinet obscur, I, 474.
Cadres intermédiaires, I, 209; extenseurs Raboisson, 281; à manche, 484.
Calibres, I, 490; III, 51.
Calotype Talbot, I, 11; II, 14, 17.
Carbonate de soude, II, 272; de potasse, 273.
Carte du ciel, IV, 195.
Cartons durcis, cuvettes, I, 479.
Cartons pelliculaires, II, 351.
Caséine, II, 193.

Caustiques, I, 153.
Cellulose (procédé), II, 34 ; nitriques, 51.
Centrage, IV, 52.
Céroléine, II, 19.
Chambres : noires, I, 206 ; d'atelier à tiroir, 207 ; à soufflet, 211 ; à bascule, 211 ; à soufflet tournant, 213 ; chambre universelle, 214 ; de voyage à boîte, 219 ; Jonte, 220 ; Civiale, 221 ; Durand, 222 ; Relandin, Roger, 223 ; soufflet tournant de voyage, 224 ; Enjalbert, Martin, Sauret, Martinet, 226 ; Rückert, Martinet Rückert, 227 ; Henry, Pélegry, 228 ; anglaises, Meagher, Rouch, Sheperd, Melhuis, Ottewil, Hare, Watson, 229 ; Ross, Watson Acme, 230 ; Express Nadar, 232 ; Mac Kellen, 236 ; métalliques Melhuis, 236 ; Conti, 237 ; Vavasseur, 238 ; à tirage fixe, 238 ; Pons, 239 ; Plucker, Dubroni, Candèze, de la Laurencie, 240.
— à main, I, 242 ; Dumont, Thomson, Campbell, Bertsch, Enjalbert, Fetter, 243 ; de Neck David, 244 : Gilles, Manenizza, à miroir, 245 ; Smith, Tourtin, Sutton, 246 ; Mendozza, de Chennevières, Bolas, détective Nadar, 247 ; Kodak, 247 ; cryptographe de Hiekel, 249 ; omnigraphe Hanau, 249 ; Ruckert, 250 ; autopolygraphe, en cas photographique Vidal, 250, Guilleminot, 251 ; Derogy, Le Roy, Steinheil, 252 ; polyconographe Dubosc, vélographe Gorde, 253 ; jumelle photographique, 253 ; photosphère Conti, Watson, 254 ; chambre chapeau, 254 ; chambre viseur, Disdéri, York, Marion 255 ; Londe, IV, 87.
— stéréoscopiques, I, 255 ; Koch, Londe et Dessoudeix, 256 ; planchettes Harisson, Relvas, 257 ; Quéval, Gilles, Jamin, 259 ; de Rancogne, 258 ; Bertsch, IV, 102.
— diverses, Window et Brige, I, 260 ; Geldmacher, Deflubé, 260 ; pour cartes siamoises, 261 ; à lumière rouge, 274.
— panoramiques, Martens, Schuller, Garella, Porro, I, 262 ; Ross, Broomann, Johnson et Harisson, Brandon, Jonte, Sutton, 263 ; Silvy, Rollin, Ferrier, Koch, Chevalier, Mangin, 264 ; cylindrographe Moessard, 265 ; Busch, 270 ; Benoist, 271 ; chambre revolver, Jonte, Aird, Clouzard, Enjalbert, 273.
— sans objectifs, Berry, Emerson, Rayleigh, Abney, 303 ; Colson, Meheux, Miethe, 304.
— Conditions d'établissement, 306 ; obscurité, 307 ; parallélisme des faces, 308 ; glace dépolie, 310 ; choix de la chambre noire, 386 ; son emploi dans l'atelier, 386 ; pour reproductions, 388 ; emploi au dehors, 391.
— solaire, IV, 11 ; dialytique, 14 ; microscopique, 131, 134.
Charriot droit, 1, 212.
Châssis à échelle, IV, 371.
— négatifs, I, 209 ; à rideaux, 210 ; à volets, 211 ; pour cartes siamoises, 261 ; Vivien, Picq, Mackenstein, Hiekel, Hauguel, métalliques Tylar, Clouzard, 277 ; pour épreuves retournées, 278 ; pour glaces sèches, 278 ; II, 88.
— pour papier négatif Clément, Marion, de Rancogne, Martin, 279 ; Pélegry, Pons, Trutat, 280 ; Balagny, 282.
— à rouleau Relandin, Humbert de Molard, Melhuis, Burnett, Audineau, Nicole et Silvy, 283 ; Warnerke, Stebbing, 284 ; Mendozza, Carquero, Perron, 286 ; Eastmann, 287.
— multiplicateurs, 289.
— à escamoter, 291.
— pour développement, Besson, Claudet, Newton, Alfieri, Albitès, 292 ; Sabatier Blot, Weiske, Burgue, Dubroni, Anthony, Jule, Gauvain, Stein, Schaeb, 293.
— positif, III, 43 ; à ventouse, 109.
Châssis-presse, I, 486.
Charbon, III, 199.
Chercheur focimétrique, I, 400 ; de Barton, Wehl, Buelher, 402.
Chevalet Huguenin, I, 389 ; Nadar, 389.
Chlorure d'argent, I, 89 ; sur papier, 18 ; violet, IV, 375.
Chlorure d'or, I, 7.
Choix des chambres, I, 386.
Choix des objectifs, I, 378.
Choix du papier, II, 10.
Chromophotographie, IV, 374 ; procédés usuels, 376.
Chronophotographie, I, 428, IV, 290.
Ciels (retouche), II, 376.
Ciré (papier), I, 14 ; II, 18.
Clarté, I, 345 ; sa mesure, 351, 352 ; coefficient de clarté, 358.
Clichés, *voir* phototypes, négatifs.

Cloison mobile, I, 255.
Coefficients de sensibilité, I, 414.
Collage des épreuves, II, 73, 74.
Collodio-bromure d'argent, II, 170, 172, 175.
Collodio-chlorure, II, 382 ; III, 99.
Collodion humide, II, 44; formules, 64; mélangé, 65; divers, 67; décomposition, 70; emploi, 73; au nitrate d'argent, 125; insuccès, 126; humide en plein air, 135; préservé, 189; à l'albumine, 146; sur le papier, 344; sur pellicule, 346.
Collodion sec, I, 15; II, 140; à la résine, 143; sans préservateur, 145; au tannin, 151; divers, 157, 159, 161; bromuré, 162.
Comparaison des mesures, I, 488, 489.
Condensateurs, IV, 12; Abbe, 126, 127.
Conservation des négatifs, II, 300.
Conservation des plaques, II, 253.
Contre-types à la chambre noire, II, 380; par phototirage, 381; par saupoudrage, 383.
Convergence, I, 53.
Cornues, I, 489.
Coton-poudre, II, 47; précipité, 54; résistant, pulvérulent, 183.
Coupage des épreuves, III, 42, 51.
Crayons à retouche, II, 365; emploi, 368.
Crochets, I, 485.
Crown-glass, I, 38.
Cryptographe Hiekel, I, 249.
Cuves à lavages, I, 489, 490.
Cuvettes, I, 479; grandes dimensions, 480; en zinc verni, II, 25.
Cyanofer, III, 163.
Cylindrage, III, 76.
Cylindrographe Moessard, I, 268; topographique, IV, 261.

Daguerréotype, I, 12; III, 7
Décollage. — *Voir* Retournement.
Dessiccation, II, 91.
Développement aux sels de fer. II, 92; formules, 94; acide, 97; divers, 99; pyrogallique, 102; alcalin, 104; pyrocatéchine, 105; insuccès, 131; alcalin, 165; au fer, 263; à l'ammoniaque, 271; carbonates alcalins, 273; concentrés, 279; hydroquinone, 280; IV, théoric, 308, 321.
Dévernissage, II, 336.
Diffraction, I, 28.
Dioptrie, I, 53.
Dispersion, I, 30.
Distance hyperfocale, I, 339; focale, 317.
Distance, coefficient, I, 417.
Distorsion, I, 57, 343.
Drumond, I, 471.
Durée d'impressions, I, 421.

Écartement des objectifs stéréoscopiques, I, 259.
Échelles de teintes, IV, 369.
Éclairage du laboratoire obscur, II, 326.
Éclairage du modèle, I, 452, 465; électrique, au gaz, 470; au magnésium, 468, 469; du cabinet noir, 475.
Éclairage des objets microscopiques, IV, 161.
Éclat intrinsèque, I, 345.
Éclipses, IV, 222.
Écran coloré, II, 317.
Écran de tête, I, 457; réflecteur, 459; Midwinter, Prümm, Kent, 457.
Écran pour projections, IV, 65.
Égouttoirs, I, 483.
Électrographie, IV, 340.
Éléments cardinaux, I, 48.
Émaillage, III, 80.
Émaux, III, 384.
Émulsions, I, 15, 17.
Émulsion au collodion, II, 170; avec bain, 172; lavée, 175; avec préservateur, 179; sèche, 183; Chardon, 188; Abney, 189; Eder, Warnerke, 190; au carbonate d'argent, 194; gélatine, 208; sans lavages, 238; alcoolique, 302; gélatine et pyroxile, 303; orthochromatique, 329.
Encollage, III, 23.
Entonnoirs, I, 481.
Épaisseur (lentilles), I, 47.
Épreuves aux sels d'argent. III, 30; aux sels de fer, 159, 165; de chrome, 187; d'urane, 176; de mercure, 182; de plomb, 183; de cuivre, 189.
Epreuves positives, I, 12; III; négatives, I, 12; II et IV.
Eprouvettes, I, 481.
Equerres, I, 491.
Escamoter, I, 290.
Etiquettes, I, 482.
Euryscopes, I, 124, 126, 380.
Exposition à la chambre noire, II, 88; préalable, 89; insuccès, 129; *voir* Temps de pose.

Ferrotypes, III, 12.
Filigranes, III, 366.
Filtres, I, 481.
Finesse, netteté, I, 56.
Fixage, I, 13; II, 107, 131, 286; III, 63, 66.
Fixe-œil, I, 462.
Flint-glass, I, 38.
Fluorescence, IV, 326.
Focimètre, I, 335.
Fonds et accessoires de l'atelier, I, 450; Salomon, 451; montage des fonds, 462.

Formats photographiques, I, 490.
Formule de Newton, I, 33.
Foyers principaux, I, 50; *voir* Distance focale.
Fumigations, III, 41.

Gaïac, I, 9.
Galerie vitrée, I, 442.
Gallique (acide), I, 13.
Gélatine, I, 14; procédé avec bain, I, 33; sur collodion, 39; émulsion, 208.
Gélatino-bromure, I, 17; II, 202; historique, 204; addition de substances diverses, 219; d'iodures et de chlorures, 223; émulsification acide, 230; alcaline, 235; préparation des plaques, 242; préparation industrielle, 255; emploi des plaques, 259; avec pyroxile, 303; sensibilité augmentée, 304; résumé du procédé, 313; orthochromatique, 330; sur papier, 346; sur papier gélatiné, 348.
Glaces, verres, I, 482; dimensions, 483; albuminage préalable, 72; polissage, nettoyage, 71; talcage, 185.
Glace dépolie, I, 274; son remplacement, 275.
Globe-lens, I, 78.
Gomme arabique, II, 156.
Gomme pyroxile, II, 55.
Grade, I, 323.
Grandeur des images, I, 392.
Gravure, I, 19; *voir* photoglyptographie.
Grossissement, IV, 181.
Groupes, I, 464.
Gutta-percha, I, 479.

Halo, IV, 343.
Harmonie, I, 424.
Héliochromie, I, 21.
Héliographie, I, 19.
Héliophotographie, IV, 210.
Héliophastie, I, 20.
Héliostat, IV, 145.
Héliotypie, I, 21.
Historique, I, 8.
Horizon, I, 151.
Hydroquinone, II, 280.
Hydroxylamine, II, 283.
Hyposulfite de soude, I, 12; *voir* Fixage.
Hypothèses, IV, 319.

Impressions photomécaniques, *voir* Photocollographie.
Iconogène, II, 279.
Iconomètre, I, 400.
Illumination, I, 346.
Images sans sels d'argent, I, 18; pour projections, IV, 70; latente, 317.
Insuccès, II, 126, 307; III, 87, 245.
Instantanés, IV, 85; *voir* Obturateurs.
Interférences, I, 27.
Indices de réfraction, I, 29.
Iode, I, 13.
Iodures, II, 63, 197, 223.
Iodure de potassium, I, 12.
Irradiation, IV, 341.
Isochromatiques, *voir* Orthochromatiques.

Jumelle photographique, I, 253.

Laboratoire, I, 473; obscur, 474; essai, 478; de tirage, 485; de montage, 490; portatif, 138.
Laminoir, I, 492.
Lampe étalon, IV, 362.
Lanternes de laboratoire, I, 477.
Lavages, I, 490; du bromure précipité, II, 239; des épreuves, III, 67.
Lentilles, généralités, I, 36; fabrication, 38; propriétés, 46.
Lever des plans, IV, 246.
Ligne d'horizon, I, 451.
Liqueur iodurante, II, 61.
Lithographie, *voir* Photocollographie.
Longueur focale, *voir* Distance focale.
Loupe, I, 403.
Lumière, I, 7, 8, 24, 26; du magnésium, 469; électrique, du gaz, 470.

Macro-micromètre, IV, 199.
Magnésium, I, 469.
Matières colorantes, II, 324.
Maturation, II, 213; à froid, 237.
Mesures graduées, I, 492.
Météorologie, IV, 286.
Microphotographie, IV, 111.
Microscopes photographiques, IV, 113.
Microspectrophotographie, IV, 173.
Mise au point, I, 275, 403.
Modérateurs, II, 268.
Montage, I, 490; des épreuves, III, 72.
Monture des objectifs, I, 45.
Monuments, I, 468.
Mortiers, I, 489.
Moulage, III, 369.
Multiplicateurs, *voir* châssis.
Muscles de la face, II, 369.

Négatifs, I, 12.
Netteté, définition, I, 56.
Nettoyage des plaques, I, 484; II, 71.
Nitrate d'argent, I, 7; *voir* bains, émulsions.

Objectifs photographiques, description, I, 63; à petite ouverture, 65; simple, 65; simple grand angulaire, 69; simple rapide, 72; rectilinéaires pour vues, 74; globe, 78; de Sutton, 80; doublet, 80; grand angulaire Martin, 81; symétrique grand angle, 82; périscope, 82; Zentmayer, 82; pantoscope

83; panoramique, 84; périgraphique, 86; rectilinéaire grand angle, 86; aplanat pour vues, 92; pour reproductions, 93; à grand angle, 94; à grande ouverture, portraits, 95; égaliseur, 99; à foyer variable, 101; Voigtlander, 105; rectilinéaire à portraits, 106; euryscope à portraits, 107; antiplanat à portraits, 109; groupes, 110; aplanats paysage, 115; portraits, groupes, 116; rectilinéaires rapides, 118; rectilinéaires, 120; aplanétiques extra-rapides, 121; hémisphériques rapides, 123; symétriques rapides, 124; rectigraphiques, 124; euryscopes, 124, 126; triple, triplets, 127, 130, 131; orthoscopiques, 131; trousses, 133; à foyers variables, 133; à cône centralisateur, 135; anallatique, 135; à foyers multiples, 137; trousses d'objectifs, 137; Berthiot, 140; essai, 315; longueur focale principale, 317; méthode Cornu, 319; Warnerke, 321; Moessard, 322; triangle, 326; de La Baume-Pluvinel, 327; Taylor, 327; Secretan, 328; points focaux, 329; par le calcul, 331; axe optique, 331; surface focale principale, 332; surface de diffusion, 333; champ utile, 333; clarté d'un objectif, 345; objectif type, 348; mesure de la clarté, 352; achromatisme, 354; essais divers, 356; résumé des essais, 357; choix, 378; à portraits, 379; pour groupes, paysages, 380; monuments, cartes, 382; pour épreuves instantanées, 384; IV, 85; apochromatiques, IV, 85, 119; astronomiques, IV, 205; microscopiques, IV, 117.

Objets en mouvement, I, 490.

Obturateurs, I, 151; place, 152; ouverture, 153; mouvement circulaire, latéral, 159; à pose, 160; à guillotine, 161; à store, 162; Mauduit, 163; Hannyngton, 164; Trévaux, 166; David, Gilonna, Borlinetto, Hermagis, Darlot, Prümm, 167; Harrisson, Hoskin, Grimston, Gorde, Valette, Swann, 168; England, Birdshall, Londe et Dessoudeix, 169; stéréoscopique, 171; Bertsch, 171; Brossier, Siedebotham, Lecanu, 172; Sutton, Baillon, Braun, Bertsch, 173; Dubarry, Berthiot, Londe, 175; Stein, 176; rendement, 177; Thury et Amey, 179; Zion, Stebbing, 181; Français, Steinheil, 182; Mann, Hokin, Notton, 183; Contadzian, Calamme, Penny, 184; Dallmeyer, 185; Dallmeyer et Beauchamp, 186; Martinet, 187; Lütken, Gilon, 188, Bocca, 191; Montefiore Lévy, Bedford, 193; Jackson, Pizzighelli, Conti, Gilbert, Zschocke, 194; à volets, Read, 194; Guerry, 195; à plusieurs volets, 196; Skaife, Jubert, 196; Audra, Chéron, Guerry double, 197; Bocca, 198; de La Baume-Pluvinel, 200; Candèze, 201; David, Mendozza, 202; Humbert de Molard, Ommeganck, 203; H. Vogel, 204; temps de pose, 426; rendement, 433.

Oculaires, IV, 122; à projections, 123.

Omnigraphe Hanau, I, 249.

Ondes lumineuses, I, 26.

Orthochromatiques, II, 316; collodion, 319; collodio-bromure, 321; gélatino-bromure, 323; avec bain, 328.

Oxhydrique, IV, 53.

Panoramiques, *voir* Chambres.

Papier Talbot, I, 11; humide négatif, II, 12; ciré sec, 18, 22; positif, 18, 26, 30.

Pantoscopes, I, 83.

Paraffine, I, 482.

Paysages, I, 466.

Pellicules, II, 349; sans support, 358.

Périscope, I, 358.

Perspective, I, 265.

Phénylhydrazine, II, 284.

Phosphorographie, IV, 244, 338.

Photochromographie, III, 378.

Photogalvanographie, III, 368.

Photogrammétrie, IV, 255.

Photogravure, I, 19.

Photocollographie, III, 252.

Photoglyptographie, III, 335, 338.

Photographie des passages, IV, 329; à longue distance, 266; en ballon, 267; par cerf-volant, 269; par fusée volante, 270; d'éclairs, 290; des gestes, 305; judiciaires, 306; des manuscrits, 307.

Photomètre Vidal, III, 222; Woodbury, usuels, IV, 354; à échelles, 356; à tubes, 357; Warnerke, 357; Becquerel, 358; Mascart, 364; Decoudun, 368.

Photométrie, IV, 349, 350.

Photomicrographie, V, 179.

Phototypie, I, 21.
Phototypographie, III, 307.
Photoplastographie, III, 349.
Photosphère Conti, I, 254.
Phototypes négatifs, II.
Pieds d'atelier, I, 294; pied table, 296; de campagne, 297; Clément, Lacombe, Porro, Relandin, 298; Hooper, Haton de la Goupillière, de Barrau, Silvy, 299; Shadbolt, Warnerke, Durand, 300; de la Laurencie, Candèze, Davanne. 301.
Pistolet porte-glace, I, 484.
Planchettes, I, 215; formats du Congrès, 311.
Plans principaux, I, 49.
Planètes, IV, 229.
Plaques orthochromatiques, II, 330; courbes, IV, 259; souples, II, 230.
Platinotypie, I, 19; III, 141; par développement, 150.
Poids et mesures, I, 488.
Points nodaux, I, 48.
Pointe à couper, I, 491.
Polissage du verre, I, 43; planchette à polir, 484.
Polyconographe Dubosq, I, 253.
Polygraphe Arwin, I, 242.
Polyorama, IV, 68.
Portraits, I, 456; au dehors, 464; en chambre, 465.
Portefeuille châssis, I, 279.
Pose, I, 456.
Positives stéréoscopiques, IV, 106.
Position des diaphragmes, I, 88, 406.
Préservateurs, II, 139; collodio-bromure, 201.
Presse à satiner, I, 491; III, 76.
Prismes, I, 30.
Procédés, désignation, II, 7; pellieulaires, 338.
Profondeur du foyer, I, 56, 363; du champ utile, antérieure, postérieure, totale, 339.
Projection, IV, 61.
Pupitres à retoucher, II, 363.
Pyrocatéchine, II, 105, 382.
Pyrogallol, II, 270.

Rapport de clarté, I, 347.
Radiations, I, 30; IV, 324.
Rayons colorés, I, 9.
Rectigraphiques, I, 124.
Rectilinéaires rapides, I, 118, 120.
Redressement de l'image, I, 383.
Réducteurs, II, 117.
Réductions, IV, 77.
Réflecteurs, I, 459; multiplicateurs, 460; Klary, 460.
Réflexion de la lumière, I, 30.
Réfraction, I, 29; à travers une surface sphérique, 31.
Réfringence, I, 29.
Règles graduées, I, 491.
Rendement, I, 177; calcul du rendement, 433.
Renforcement, II, 105; deuxième, 109; divers, 111; par réfection, 115; du gélatino-bromure, 291.
Repérage, III, 381.
Report, III, 325, 386.
Reproductions (atelier pour), I, 445.
Résidus, III, 90.
Résines, II, 21; III, 95.
Retouche, II, 362; des paysages, 375; III, 76.
Retournement, *voir* transport.
Révélateurs, IV, 323, *voir* développement.
Revolver (chambre), I, 273
Rideaux, I, 453.
Robinets (étuis à), I, 245.
Rondelles d'objectifs, I, 311, 312.
Rouge (verre), I, 475.

Saupoudrage, II, 383; III, 171, 384.
Scénographe, I, 496.
Séchage du papier, II, 10; des plaques, 248.
Séchoirs, égouttoirs, I, 482; II, 248.
Sélénéphotographie, IV, 216.
Sensibilisation du papier, II, 15; du collodion, 77; double sensibilisation, 87.
Sensibilité (coefficient de), I, 410.
Sensitomètre, II, 261.
Siamoises (cartes), I, 261.
Silice (procédé), II, 35.
Soufflet, I, 211.
Soulèvement du gélatino-bromure, II, 219.
Spectre solaire, I, 30.
Spectrophotographie, IV, 233, 293, 330.
Stéréographe, I, 239.
Stéréoscope, IV, 98; microstéréoscope, 175.
Stirator Dessoudeix, II, 358.
Sulfure d'antimoine, I, 417.
Support à glaces, I, 482.
Symétrique grand angle, I, 81; rapide, 124.

Tableau des coefficients de clarté, I, 360; profondeur de foyer, 364 à 370; surfaces conjuguées, 372, 373; grandeur d'image, 392; réduction d'objets, 394; agrandissement, 395; diagonale des plaques, 396; angle du champ, 397; champ d'éclairage, 399; coefficients et facteurs d'éclairage, 412, 413; de sensibilité, 413, 415, 416; de distance, 417; coefficients intrinsèques, 418; déplacement des sujets, 423; fraction de secondes, 424; translation des objets, 425.
Tache centrale, I, 87.
Temps de pose, I, 408;

coefficients, 411; formule abrégée, 417; détermination expérimentale, 417; utile, effectif, 420; mesure du temps de pose effectif, 426.
Test-focimètre, I, 335.
Thermographie, IV, 339
Tirage, I, 185.
Tourniquet, I, 323.
Transfert, III, 228, 238.
Transparentes, I, 409; IV, 106.
Transport sur pellicule, II, 336; avec support transitoire, II, 341; sur caoutchouc, 342.
Triplet, I, 130, 131; apochromatique, IV, 85.
Trousses d'objectifs, I, 133.

Unité de lumière, IV, 360.

Vélographe Gorde, I, 253.
Ventouse, I, 484.
Vernis, procédés, II, 35; formules diverses, 121; à froid, 122; à retouches, 123, 366; granulaire, 124.
Vernissage, II, 118, 299.
Verres courbes, I, 80, 407.
Vignettes, III, 47.
Virages, I, 13; III, 25, 52.
Vis à fixer, I, 301.
Vitrage, I, 445.
Voile des négatifs, II, 131; coloré, 217.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS PROPRES

DES QUATRE VOLUMES.

Abbe, IV, 85, 117, 118, 119, 127, 128, 149, 168, 170, 172, 187.
Abel, II, 46, 47.
Abercromby, IV, 288.
Abilguar, I, 9.
Abney, I, 16, 17, 173, 204, 205, 303, 304, 412; II, 24, 26, 73, 91, 94, 114, 121, 131, 133, 174, 175, 189, 195, 199, 202, 206, 207, 213, 216 à 218, 222, 223, 235, 239, 242, 253, 254, 258, 268, 270, 276, 280, 290, 295, 297, 301, 311, 316, 317, 343, 360; III, 23, 25, 29, 41, 66, 93 à 95, 97, 106, 107, 118, 128 à 130, 140, 227, 270; IV, 86, 215, 216, 299, 328, 338, 342, 345, 356.
Ackland, II, 142, 148, 168
Adam, I, 480; IV, 358.
Addenbrooke, I, 362.
Adeney, IV, 297.
Agle, I, 205, 440; IV, 97.
Aignier, II, 157.
Aird, I, 273.
Airy, IV, 223, 232.
Alauzet, III, 284, 291 à 293, 295, 343.
Albert, I, 21; II, 7, 317, 321; III, 28, 275, 298, 300, 318.
Albert le Grand, I, 7.
Albinus, III, 16.
Alexandre, II, 269; IV, 323.
Alfieri, I, 292.
Algeyer, III, 306.
Alker, I, 253; II, 382.
Allison, II, 276.
Almeida (d'), IV, 79, 108, 109.
Altishoffer, III, 274, 306.
Amey, IV, 267.
Amici, IV, 174.
Amory, II, 327.
Andoyer, IV, 199, 307.
André, IV, 243.
Andressen, II, 207, 278, 284.
Angerer, I, 459; II, 157.
Angot, IV, 243.
Anschütz, IV, 96, 109, 281, 284.
Anthony, I, 15, 292; II, 142, 144, 161, 165; III, 38.
Arago, I, 262; IV, 218, 246, 349.
Archer, I, 14, 127, 135, 136; II, 45, 46, 68, 96, 102, 106, 112, 141, 334; III, 14.
Arentz, II, 342; III, 347.
Argand, II, 331.
Aristote, I, 206.
Arnauld, IV, 219.
Arnold, II, 282.
Arnstein, II, 333.
Argelander, IV, 202, 209.
Artigues, III, 240.
Arwin, I, 242.
Ashmann, II, 220.
Asser, III, 268.
Atkinson, I, 135.
Attout-Tailfer, II, 316.
Aubert, III, 249.
Aubray, I, 470.
Aubrée, III, 16.
Audra, I, 197, 198; II, 187, 188, 242, 244, 251, 258, 290; III, 98, 227.
Audineau, I, 283.
Avet, III, 372.

Babinet, IV, 296.
Babo (V.), I, 471; II, 62, 68, 69.
Backland, II, 278.
Backrach, II, 275.
Bacon (Roger), I, 206.
Bacot, II, 32.
Baden-Pritchard, I, 472, III, 58.
Baeyer, II, 320.

Baillaud, IV, 207.
Baille, IV, 159, 300.
Bailleu d'Avricourt, II, 25.
Baillon, I, 173.
Baker, II, 98, 223, 281; IV, 227.
Bakhuysen, IV, 202, 204.
Balagny, I, 268, 282; II, 188, 280, 343, 348, 352, 356, 360, 383.
Balderus, III, 268.
Baldus, II, 16, 24, 33, 175.
Banks, I, 181.
Barber, II, 78.
Bardy, I, 16, 471, 477; II, 55, 171, 187, 188, 198, 200, 356.
Bardwel, II, 113, 157.
Barié, II, 62.
Barker, II, 223, 224; III, 129.
Barlet, II, 220.
Barné, II, 168.
Barrati, II, 96, 99, 156.
Barrau (de), I, 229.
Barreswil, I, 20, 214, 301, 481; II, 40, 133, 140, 143; III, 29, 258, 337, 348; IV, 30, 43, 78, 102, 110, 160.
Barret, II, 276.
Bartholomey, II, 68, 160, 161.
Barton, I, 401.
Bascher, II, 206, 242, 277.
Bathe, II, 274.
Baton, I, 450.
Batut, IV, 268 à 271, 306.
Baudesson, III, 165.
Baume Pluvinel (de La), I, 200, 327, 329, 332, 334, 338, 344, 348, 351, 359, 364, 365, 367, 373, 384, 394, 408, 414 à 416, 419, 423, 427, 431, 433, 440; II, 290, 301; IV, 97, 229, 321, 343, 344, 359.
Bausch, IV, 112.
Bayard, I, 12, 65, 279; II, 30, 34, 39, 117, 147, 334; III, 6, 7, 15, 21, 54, 65, 70, 185.
Bayle-Mouillard, I, 7, 11, 19.
Baxter, III, 16.
Bazin, I, 274; II, 90.
Beach, II, 284.
Bealc, IV, 193.
Beasley, II, 73.
Beauchamp, I, 186.
Beautemps-Baupré, IV, 246.
Beccarius, I, 8.
Beck, I, 204; IV, 111, 169, 176.
Becquerel, I, 18, 21; II, 316, 331; III, 10, 20, 181, 187, 189; IV, 295, 325, 326, 338, 347, 353, 358, 359, 373, 375, 378.
Bedford, I, 193.
Behrens, IV, 193.
Beisgen, IV, 341.
Belbèze, II, 101, 150, 157, 158.
Belfield, III, 9.
Belitzki, II, 52, 61, 277, 290, 295, 298.
Bell, II, 119; III, 132; IV, 312.
Bellio (de), I, 485.
Belloc, II, 40, 62, 133; III, 16.
Bénèche, IV, 111.
Bénedict, II, 331.
Bennet, I, 17; II, 205.
Benoit (L.), I, 343.
Benoist (T. et P.), I, 171.
Bérard, III, 23.
Bergmann, I, 9.
Berkeley, II, 182, 206, 272, 274, 277, 298.
Berkowski, IV, 223.
Berres, III, 377.
Berry, I, 303; II, 61.
Berthelot, I, 17; II, 46, 99, 209; IV, 311, 312, 325, 348, 349.
Berthiot, I, 64, 80, 86, 121, 138, 139 à 141, 175; IV, 85.
Berthollet, I, 9.
Bertrand, II, 168; III, 95.
Bertsch, I, 70, 162, 171, 173, 237, 243; III, 16; IV, 6, 7, 22 à 24, 31, 82, 89, 103, 105, 144, 187, 219, 299.
Bertschold, III, 257.
Bessel, IV, 204.
Besson, I, 214, 260, 292.
Best, III, 69.
Beuvière, I, 19.
Berwich, IV, 179.
Bézu Hauser, I, 85, 123; IV, 111, 188.
Bianchi, IV, 226.
Biazari, II, 168.
Biering, II, 283.
Bigelow, III, 93.
Billault-Billaudot, II, 187.
Bing, IV, 356.
Bingham, II, 46, 133; III, 9.
Biny, II, 241; III, 16, 371.
Biot, I, 47, 62.
Birdshall, I, 169.
Bisson, III, 11.
Biver, I, 479.
Blair, II, 80, 156; III, 201, 208, 240, 372.
Blaise, IV, 77.
Blanc, II, 165.
Blanchard, I, 449; II, 17, 87, 113, 298; III, 79.
Blanchère (de La), I, 305, 472; II, 26, 36, 40, 132, 133, 136, 140, 168; III, 93, 177, 180, 186, 390; IV, 99, 110.
Blanchet, II, 11; III, 23.
Blanquart-Evrard, I, 9, 13, 18; II, 12, 13, 24, 26, 91, 115, 133, 169, 378; III, 26, 65, 93.
Blocde, III, 74.
Bocca, I, 191, 198; IV, 283.
Boettger, I, 471.
Boissonas, II, 318, 329.
Boivin, II, 144, 158, 159, 168, 201; III, 177, 215, 216, 239.
Bolas, I, 175, 247; II, 381, 382; III, 16, 217.
Boll, I, 471; IV, 341.
Bollman, I, 168; III, 176; IV, 244.
Boltmann, IV, 305.
Bolton, I, 16; II, 158, 162, 169, 181, 186, 193, 219, 257, 339; III, 135.
Bolton (Carrington), III, 180.
Bon (Dr G. Le), I, 393, 407, 419, 430; IV, 254 à 258, 271.

Bond, IV, 206, 208, 218.
Bonnet, III, 286, 292, 306, 321, 331, 339, 382.
Bonoldi, II, 155.
Bonsfield, IV, 193.
Bontemps, I, 38, 40, 447.
Borda, II, 144. 165.
Borie-Tournemire, I, 274; II, 144; IV, 265, 266.
Borlinetto, I, 167; II, 156; III, 249, 306.
Bory, III, 155, 156.
Bothamley, II, 330; IV, 360.
Bottone, II, 96, 172.
Bouasse, IV, 299, 330.
Boudet, IV, 341.
Bouguer, IV, 349.
Bour, IV, 225.
Boussigues, III, 7, 11.
Bouty, I, 35.
Bovey, III, 39.
Brand, I, 470.
Brandon, I, 263.
Brandshaw, II, 228.
Branly, IV, 289.
Braun, I, 173; II, 234, 240; III, 243.
Brauneck, III, 293.
Bravais, I, 47.
Brébisson (de), I, 486; II, 41, 46, 60, 62, 133, 158, 168; III, 16, 21; IV, 180, 186.
Brewster, I, 68, 379; IV, 99, 158.
Bride, II, 133; III, 16; IV, 43.
Brige, I, 260.
Brigthmann, II, 91, 311.
Brooks, II, 25, 211, 222, 272, 276, 288.
Broomann, I, 263.
Broown, II, 84, 107, 217; IV, 227.
Brossier (Ch.), I, 172.
Brothers (A.), I, 468, 469; IV, 227.
Browning, IV, 228, 233, 238.
Brun, II, 99.
Brünner, III, 217.
Brünner (E.-L.), IV, 243.
Buchner, II, 105.
Buda, III, 20.
Buehler (A.), I, 204, 260, 305, 402, 472.
Bullock, III, 271; IV, 112.
Bunsen, I, 411, 468; II, 230; III, 370; IV, 313, 349, 350, 354, 355.
Burback, II, 325.
Burgess, I, 17, 276; II, 168, 205, 258, 290, 301, 310; III, 16, 98.
Burgae, I, 293.
Burnett, I, 283; III, 175, 188; IV, 351.
Buron, I, 66, 99, 142; III, 16.
Burton, I, 72, 165, 472; II, 212, 218, 223, 224, 240, 252, 258, 286, 290, 293, 301, 314, 340.
Busch, I, 64, 84, 124, 130, 131, 270; IV, 223.
Buyron, II, 175.

Cadett, I, 197, 198.
Cailletet, IV, 273.
Calamme, I, 184.
Campbell, I, 243; IV, 210.
Camuzet, II, 46, 55, 99, 183.
Candèze, I, 201, 240, 242, 301.
Cantab, II, 98, 113.
Caranza (de), II, 20; III, 59, 60.
Carbutt, II, 358; III, 131.
Carette, IV, 36, 37.
Carcel, IV, 61.
Carey Lea, I, 16, 469; II, 71, 90, 100, 101, 104 à 106, 110, 111, 162, 166, 167, 170 à 172, 174, 177 à 183, 194, 195, 200, 201, 206, 268, 269, 275, 285, 316, 317; III, 40, 57, 71, 164; IV, 316, 320 à 322, 352.
Carlevaris, IV, 50.
Carrol, II, 300.
Carquero, I, 286.
Cash, II, 32.
Cassebaum, II, 284.
Cassegrain, IV, 235.
Castracane (de), IV, 158.
Cauchoix, I, 65.
Cauchy, I, 26.
Caze, IV, 108.
Challis, IV, 214.
Champion, I, 433; II, 53, 87.
Chapelin, I, 165.
Chappuis, III, 228.
Chapmann. IV, 215.
Chardon, I, 16, 19; II, 145. 163, 171, 175, 183, 184. 186 à 189, 195, 196, 202, 224, 246, 251, 258, 290, 343, 347; III, 207, 242; IV, 345.
Charles, I, 9.
Châtelier (Le), IV, 286.
Chennevières (de), I, 247; II, 349, 351.
Chéron, I, 197.
Chevallier (A.), I, 264; II, 25, 26, 32, 40, 133, 168; IV, 43, 60, 117, 186, 264.
Chevallier (C.), I, 65, 98, 133, 142, 143, 220.
Cheysson, III, 174.
Christie, IV, 202, 204.
Civiale, I, 114, 220, 297; II, 20, 21, 334; III, 58; IV, 89, 303.
Clarke, II, 115; IV, 208.
Claudet, I, 13, 68, 99, 101, 289, 292, 354, 355, 449; II, 103; III, 8, 9, 28; IV, 12, 97, 109, 110, 188, 326, 354.
Clavier, II, 155.
Clément, I, 279, 281, 298, 419, 440.
Clouzard, I, 273, 277, 479; II, 39, 137.
Coale, II, 31.
Coddington, I, 62.
Cohen, IV, 301.
Cohn, IV, 306.
Coignet, II, 209, 230, 231, 340; III, 282.
Colas, III, 170.
Colin, I, 181.
Collache, III, 165, 170.
Colleman-Sellers, II, 32.
Collins, II, 104; IV, 111.
Colomb, III, 155.
Colson, I, 303, 304; III, 174.
Combes, I, 407.
Commailles, III, 92.
Common, IV, 203, 207, 208, 232.
Conduché, II, 69.
Constant (de), I, 168, 274,

450; II, 90, 157, 159, 160; III, 100.
Contadzian, I, 184.
Conti, I, 194, 237, 254.
Cooper, II, 73, 167, 189, 269; III, 79, 95, 97.
Corbin, II, 333, 334.
Cordier, II, 132, 133.
Cornet (Le), III, 242.
Cornetet, IV, 369.
Cornu (A.), I, 50, 51, 319, 321, 326, 427; IV, 182, 205, 227, 246, 294, 296 à 298, 342, 345
Couppier, II, 30, 31, 36, 40.
Courten (de), II, 168.
Courtenay, III, 374.
Courty, IV, 207.
Coventry, II, 39.
Cowan, II, 275; III, 123
Cox, III, 155.
Cowel, II, 298.
Cray, II, 158.
Crambs, I, 273.
Cramer, II, 274, 277, 280.
Crookes, I, 468; II, 87, 139; III, 133; IV, 219.
Crookshand, IV, 156, 193.
Cros, I, 22; II, 316; III, 188; IV, 378.
Crouch, IV, 111.
Crouillebois, I, 407.
Crum, II, 47.
Cundell, II, 14.
Curmer, II, 137.
Curty, IV, 187.
Czngafewiecz, IV, 108

Daguerre, I, 12, 13, 65, 471; III, 7 à 9, 11, 16; IV, 213, 218, 223, 321, 328, 338, 341.
Daguin, IV, 144.
Dagron, IV, 78, 82, 83, 267.
Daft, IV, 289.
Dale, IV, 267.
Dallmeyer, I, 45, 61, 64, 69, 71 à 73, 75, 76, 86, 87, 89, 96 à 98, 101, 106, 107, 118 à 121, 127, 129, 137, 141, 147, 177, 185, 186, 204, 309, 312, 340, 348 à 350, 359, 363, 365, 369, 371, 379 à 384, 407; IV, 39, 45, 102, 168, 204, 209, 213, 227, 240, 273.
Daniell, II, 256.
Danier, IV, 186.
Darcet, III, 369, 376.
Darlot, I, 80, 81, 98, 123, 137, 138, 167, 172.
Darwin, IV, 338, 339.
Davanne, I, 18, 20, 114, 141, 211, 213, 214, 218, 222, 223, 301, 305, 310, 400, 407, 481; II, 26, 40, 54, 66, 103, 118, 119, 133, 136, 140, 143, 150, 157, 165, 168, 187, 198, 202, 229, 242, 258, 276, 290, 307, 343, 353, 360, 384; III, 16, 21, 29, 39, 52, 66, 75, 82, 84, 85, 90, 92, 93, 97, 118, 158, 206, 249, 258 à 260, 272, 274, 306, 321, 331, 337, 348, 360, 366, 367, 373, 377, 388; IV, 6, 10, 30, 43, 60, 73, 74, 83, 102, 110, 111, 310, 320, 342, 378.
Davis, II, 217, 276; IV, 227.
Davy, I, 9, 21; IV, 186.
Davres, III, 96, 97, 200, 240.
Dawson, II, 167, 181, 335, 344; III, 190.
Debenham, II, 288, 359.
Decoudun, I, 419; IV, 368.
Deflubé, I, 260.
Defrance, I, 219.
Delahaye, II, 97.
Delamarre, I, 470.
Delestre, III, 16.
Deltenre, II, 137.
Delver, IV, 187.
Demonte, II, 41.
Denis Roussel, I, 276.
Denisse, IV, 270.
Derogy, I, 80, 98, 123, 127, 137, 141, 252, 383; IV, 267.
Deslandres, IV, 236 à 239, 294.
Desmarets, IV, 267.
Despaquis, III, 201, 207, 208, 217, 239, 240, 249, 273, 297, 301; IV, 38, 39.
Desprats, I, 15; II, 141, 143, 144.
Dessendier, III, 117; IV, 350.
Dessoudeix, I, 169, 256, 417; II, 261, 263, 357; IV, 87, 88, 100, 309.
Detaille, I, 162.
Devaux, III, 347.
Dewar, IV, 297, 299.
Diamond, II, 15, 26, 68, 96.
Diguey, I, 143.
Dingler, I, 460; II, 47.
Dippel, IV, 112, 117, 193.
Discon, II, 169.
Disdéri, I, 255; II, 133; IV, 87.
Doberciner, I, 19; III, 141.
Domenech, II, 137.
Domont, II, 54.
Donnadieu, IV, 144, 302.
Donné, III, 377; IV, 186.
Douny, II, 112.
Dorval, II, 277.
Doulton, I, 479.
Draper, I, 449; II, 61, 114, 142, 154; III, 10, 178; IV, 186, 208, 218, 220, 233 à 235, 238, 245, 295, 298, 312, 325, 328, 339, 349, 359.
Drechser, II, 209; III, 282.
Drummond, I, 471; IV, 46, 47, 51, 144, 154, 157.
Dubarry, I, 175.
Dubor, II, 156.
Duboscq, I, 253; II, 40, 141, 144.
Dubroni, I, 240, 293.
Duchochois, II, 86, 114, 115; III, 216; IV, 226.
Ducos du Hauron, I, 22; II, 215, 305, 321; III, 378, 382; IV, 378.
Ducom, IV, 267, 307.
Ducretet, IV, 290.
Dufour, IV, 350.
Dujardin, IV, 125, 126.
Dumaige, IV, 112.
Dumas, II, 55; IV, 341, 364.
Dumont, I, 243.

Dumore, II, 101.
Dumoulin, II, 133; III, 382.
Duncan Dallas, III, 372.
Duner, IV, 204.
Dupuis, II, 161.
Durand, I, 222, 300.
Dussel, II, 161.
Duval, II, 378.

Eastman, I, 247, 282, 287, 288; II, 241, 256, 335, 348, 349, 359, 360; III, 109, 116, 117, 137; IV, 35, 58.
Eder (Dr J.-M.), I, 9, 17 à 19, 126, 188, 204, 205, 207, 239, 246, 305, 407, 412, 414, 428, 429, 440, 472; II, 7, 40, 47, 55, 56, 59, 62, 63, 65, 85, 96, 98, 103, 112, 115, 133, 140, 149, 171, 190, 195, 199, 202, 206 à 208, 211, 213, 222 à 224, 230, 233, 235, 236, 242, 247, 254, 258, 261, 269, 271, 274, 276, 277, 280, 282 à 285, 288, 290, 294 à 299, 305, 314, 317, 323 à 326, 328, à 331, 343, 360, 383, 384; III, 16, 23, 29, 66, 79, 93, 105, 107, 108, 118, 119, 123, 125, 127, 130, 134, 138, 140, 158, 164, 174, 180, 182, 186, 191, 198; IV, 86, 96, 97, 159, 199, 273, 281, 310, 315, 333, 334, 338, 347, 353, 372, 378.
Edgis, I, 276, 290.
Edison, I, 412; II, 256; IV, 305.
Edwards, I, 162; II, 113, 217, 235, 257, 272, 276, 294, 299, 341; III, 138, 160, 236, 275, 300; IV, 219.
Egli, II, 207, 283.
Egoroff, IV, 358.
Eichens, IV, 240.
Ellacot, I, 484.
Ellery, IV, 220.
Elliot, II, 53, 60.
Elsden, II, 214.
Elwel, II, 99.
Emerson, I, 303.
Endemann, III, 191.
England, I, 160; II, 125, 149, 154, 160, 292, 300.
Enjalbert, I, 226, 243, 244, 273, 400, 402, 419, 464, 475, 478.
Ermengen (Van), IV, 187.
Eschwege, II, 58.
Euclide, IV, 98.
Euler, IV, 349.
Evens, I, 460.

Fabre (Ch.), II, 173, 186, 202, 242, 250, 290, 301, 305, 343, 360, 384; III, 94, 118, 130, 149.
Fabricius, I, 8.
Faraday, I, 468.
Fargier, I, 18; III, 199, 228, 239, 275, 297, 372.
Farmer, I, 298; III, 130.
Faye, IV, 195, 213, 224, 225, 239, 241, 242, 272.
Fayel, IV, 177, 193.
Fernique, IV, 78.
Ferran, II, 219; IV, 308.
Ferret, III, 321.
Ferreti, I, 449.
Ferrier, I, 264, 407; II, 32, 53, 98, 335, 354, 357; III, 131; IV, 93, 96.
Féry, IV, 156, 300.
Festeau, II, 333, 334.
Fetter, I, 243.
Fichner, III, 320.
Fierlants, I, 468; II, 138.
Figuier, I, 8.
Filhol, III, 22.
Fink, II, 68.
Firling, III, 243.
Firmin, II, 161.
Fisch, III, 163 à 166, 168, 174, 191, 241, 331.
Fitz, IV, 208.
Fitzgibbon, I, 407; II, 101.
Fizeau, I, 13, 19; II, 89; III, 8, 10, 20, 375, 376; IV, 205, 213, 291, 328.
Fleury-Hermagis, *voir* Hermagis.
Flores, II, 45.
Follye (de La), III, 270.
Fontagne, III, 117.
Forbes, IV, 223.
Fordos, III, 11, 21, 67.
Forel, IV, 304.
Forrest, II, 233.
Forster, I, 476.
Fortier, I, 99, 142; II, 29, 30, 72, 91, 150, 338, 358; III, 258, 260, 274, 331.
Fossarieu, III, 198, 384, 338.
Fottherghil, I, 15; II, 142, 148, 156.
Foucault, I, 62, 162, 172; III, 8; IV, 12, 186, 205, 213, 220, 221, 224, 225, 227, 328, 349.
Fouque (V.), I, 10, 12, 13.
Fourtier, IV, 73.
Fowler, II, 100, 158.
Français, I, 98, 141, 182.
Franck de Villechole, I, 278, 290, 315; II, 140, 224.
Francotte, IV, 117, 119, 139, 180, 193.
Frarier, I, 148, 149.
Frauenhofer, IV, 204, 236.
Freeson, IV, 309.
Fresnel, I, 26.
Frew, III, 99.
Fritsch, IV, 192.
Frauedmann, II, 357.
Fry, I, 14; II, 46, 69; III, 89; IV, 219.
Fyfe, II, 25; III, 20.

Gaffield, I, 447.
Gage, II, 90, 91.
Gaillard, II, 20, 102, 103, 155, 334.
Galewski, IV, 189.
Galien, IV, 98.
Gallan, IV, 306.
Garella, I, 262, 263.
Gariel, I, 35, 62.
Garneri, II, 35.
Garnier, I, 20; III, 192 à 194, 345, 369, 386.
Gasc et Charconnet, I, 78, 80, 137.
Gassendi, I, 26; IV, 98.
Gassiot, III, 377.
Gastel, II, 147.
Gastine, III, 59.

Gaudin, I, 15, 17, 18, 162, 470; II, 45, 52, 62, 79, 80, 95, 139, 169, 204; III, 10, 16.
Ganltier de Ganbry, IV, 340.
Gaumé, II, 37, 39; III, 132.
Gauss, I, 47, 61, 62.
Gauthier, I, 165.
Gautier, IV, 197, 190.
Gauvin, I, 293.
Gavarret, I, 35.
Gay-Lussac, II, 57, 86; III, 298; IV, 312, 317.
Gehlen, III, 141, 175.
Geissler, IV, 284.
Geldmacher, I, 260.
Gélis, III, 11, 21, 76.
Geoffray, II, 10, 19, 333, 344.
Georget, IV, 267.
Gérard (E.), I, 433.
Gergonne, I, 54.
Gerhardt, II, 47.
Gerlach, IV, 187, 193.
Geymet, I, 253; II, 290, 316, 382, 383; III, 106, 192, 193, 198, 260, 274, 303, 321, 327, 331, 348, 373, 377, 385, 388, 390; IV, 307.
Gebhardt, I, 469.
Gibbons, IV, 314.
Gill, IV, 202, 209, 233.
Gilles, I, 214, 222, 245, 258, 295.
Gillot, I, 21; II, 7; III, 315.
Gilon, I, 188.
Gilonna, I, 167.
Girard (A.), I, 18; II, 46; III, 2, 39, 52, 66, 81, 85, 90, 93; IV, 139, 156, 225, 322.
Girard (J.), IV, 193.
Giraud-Teulon, IV, 110.
Girod, II, 91.
Glauber, I, 7.
Gleave, IV, 284.
Gleitsmann, III, 290.
Gliesse, I, 143.
Glover, II, 156; III, 8, 16, 94.
Gobert, II, 344.
Godard, I, 75; II, 95, 134.
Goddard, III, 8, 16, 94, 338.
Gœdicke, I, 470.
Goode, I, 470.
Gorde, I, 168, 253.
Gordon, II, 159, 160, 161, 188.
Goudy, I, 458.
Gough, II, 54, 55.
Gould, IV, 208.
Goulier, IV, 226.
Graeter, II, 305.
Graham (Bell), IV, 305.
Gramme, I, 470; II, 256.
Grand, II, 222.
Grant, I, 469.
Grasshoff, III, 58.
Gray (Le), I, 13, 14; II, 15 à 21, 26, 40, 45, 61, 62, 95, 97, 114; III, 20, 21, 57; IV, 93, 96.
Green, IV, 305.
Grenlaw, II, 24.
Grice (Le), III, 21.
Grimaldi, I, 28.
Grimston, I, 168.
Grisler (Lloyd), II, 147.
Griswold, II, 90.
Griveaux, IV, 316.
Gronfier, III, 372.
Grove, I, 412; III, 377, IV, 340.
Grubb, I, 68; IV, 219, 221.
Grüne, I, 161, 377; II, 181, 385.
Gnadarbassi, III, 183.
Guérin, II, 155.
Guerry, I, 184, 195, 197.
Guilbert, I, 194.
Guilleminot, I, 251.
Guilhot-Sagnez, II, 14, 26.
Guinand, I, 38, 39.
Gulliver, I, 447, 471; II, 99.
Gundlach, I, 124; IV, 112, 122.
Guyard, IV, 352.

Haack, II, 156, 253.
Haackmann, II, 149, 304.
Hadley, III, 137.
Haddock, II, 101.
Hadow, II, 34, 47, 59, 69.
Haefstangl, II, 121.
Haensch, IV, 111, 155.
Haensel, IV, 290.
Hagemans, I, 9.
Hales, III, 16, 59.
Hallenbeck, III, 28.
Halifax, III, 21.
Halphen, II, 69.
Hamy, III, 70.
Hanan, I, 249.
Hannaford, II, 148.
Hannot, III, 266.
Hanson, II, 298.
Hannyngton, I, 165.
Hardwich, I, 291, 305; II, 52, 54, 55, 59, 68, 69, 80, 87, 95, 134, 140, 152, 159, 168; III, 16, 21, 22, 29, 57, 94.
Hardy, II, 15, 26.
Hare, I, 229.
Harmann, I, 471.
Harnecker, II, 145.
Harris-Lake, III, 183.
Harrisson, I, 78, 79, 112, 132, 146, 168, 257, 263, 276.
Hart, I, 468, 469; III, 70.
Harting, III, 156; IV, 169, 193.
Hartley, IV, 297, 300.
Hartnack, I, 86; IV, 84, 111, 158, 167, 168, 183, 222.
Harrup, I, 9.
Hasselberg, IV, 299.
Haton de la Goupillière, I, 299.
Hauer (Max), IV, 193.
Haugel, I, 277.
Haugk, II, 289; III, 40, 92, 168, 188, 189.
Hausser, IV, 111, 188.
Hauth, II, 3.
Heath, I, 163.
Hearth, III, 94.
Heerens, IV, 354.
Heighway, III, 84.
Heinley, II, 268; III, 16, 59.
Heinlmann, II, 132.
Heinrich, II, 241.
Hellot, I, 8.
Henderson, II, 80, 96, 206, 221, 237, 238, 241, 274 à 276.

Hennessy, IV, 227.
Henry, I, 216, 217, 227, 289, 296.
Henry (frères). IV, 146 197 à 199, 203, 204, 207, 209. 222, 231, 232, 239.
Hermagis, I. 69, 80, 98. 136, 384; IV, 14, 22, 99.
Hermagis (Fleury). I. 98. 121, 122, 141, 146, 167; II. 79; IV. 102, 280, 357.
Herschell. I. 12. 13. 19. 21. 62, 87. 449; II. 10. 206. 302; III. 20, 141, 165. 183, 185; IV, 109. 213. 223, 295. 325, 327, 354, 373.
Hettiner, IV. 307.
Heurck (Van), IV. 152 170, 183, 187, 192, 193
Hervé. III. 8.
Hezékiel, III. 124.
Hiekel, I. 249. 277; II. 275.
Highley. I. 291.
Hill, I, 471.
Hillmann, II. 59.
Hill Norris. II. 159.
Himes, II. 164; IV. 227.
Himly. II. 281. 284.
Hittorf. IV. 312.
Hopkin, II. 26. 40. 60.
Hoffman. II. 59.
Hofmeister. II. 208.
Hoggan, IV. 185.
Holden, IV. 210.
Holland. II. 152.
Holtz. IV, 289, 341.
Homershann. III 49.
Homolatsch, II, 54.
Hooke (R.), I. 207.
Hooper. I, 299.
Horn, II, 52. 53. 61, 62, 67, 72, 78, 113, 160.
Horsley. II. 22.
Hoskin, I, 168. 183.
Houlgrave. II, 221. 295.
Houzeau, III. 165.
Howard, II, 166.
Huberson, III. 94; IV, 193.
Hübl, I, 19; III. 142, 149, 153.
Hudson, II, 97.
Huet, IV. 304.
Huggins (V.), IV. 228, 233 à 236, 238, 239, 239, 297.
Hughes. II, 99, 101, 134; III, 58.
Huguenin, I. 338, 390; IV, 76.
Hull, II. 154.
Humbert de Molard, I. 18, 162. 203, 218, 283. 284, 296, 451; II. 15, 21, 31, 147, 204, 334, 367; III, 20. 21. 54, 64, 85, 90, 119, 128, 185.
Humphrey. II, 133; III, 16.
Hunt (R), I, 11, 14, 19; II, 17, 25. 26. 40. 90. 139; III, 11, 22. 141, 186, 188. 189, 191; IV, 325, 340, 347 373.
Husnick, II. 211, 304; III, 267, 301. 306. 376.
Hutinet, I, 486.
Huyghens, I, 26; IV, 122, 214, 349.

Ingenhouz. IV, 317.
Inglis, II, 67.
Ives. II. 321.
Izarn, IV, 285.

Jabez Hughes, III. 94.
Jackson. I, 194. 423.
Jacobsen. III. 305.
Jacobi, III, 124.
James, III. 268. 269.
Jamin, I, 135 à 137, 162, 258.
Jannin. II. 358.
Janssen. I, 22, 143, 426; IV, 195. 208, 210. 212, 215, 227 à 229, 232, 241, 271. 288, 328.
Jarmann. II. 219, 298.
Jastrzemski. II. 295.
Javary, IV, 248, 252, 253, 265.
Jeanrenaud, II, 116, 117, 145, 156, 338, 339; III, 75, 204, 206, 240, 242, 244, 366.
Jennings. IV, 193.
Jeuffrain, II, 149.
Jeserich, IV, 156, 193.
Jocelyn, II, 157.
Johansen, I, 19.
Johnson, II, 84; III, 201, 208, 236.
Johnston, I, 17, 18, 263; II, 204.
Joltrain, III. 165. 168, 170.
Joly, I, 440; IV, 156, 283.
Jonte, I. 162, 216, 219, 220, 225, 232, 273, 386; II. 137.
Jubert, I, 157, 196, 197, 431.
Jule, I. 293.
Juliot, IV, 78.
Junghans, I, 471.
Just, III. 100, 114, 118, 124, 125.

Kaiser. II. 68, 79, 98, 99, 114, 117. 157. 161.
Kaptein, IV. 202, 203.
Karsten, IV. 340.
Kayser, IV. 313.
Keene, II, 156.
Keessen, I, 295.
Keith, II, 62.
Kemp, II, 111, 156, 158, 168.
Kennet, I, 17; II, 205. 246, 249. 250, 311.
Kennyon. II, 235.
Kent, I. 457.
Kershaw, I, 148.
Kidd, II. 359.
King, I. 17; II, 204.
Kinley, III, 11.
Kinnear. I. 228.
Kinsley, II. 62.
Kircher, I, 142, 143; IV, 61.
Klary. I. 457. 461, 472; II, 384; III. 94.
Kléber, II. 10; III. 23.
Kleffel. II, 60, 86, 160; III. 25, 94.
Kleine, IV, 168.
Klinger, II, 115.
Knor. IV. 340.
Koch. I, 214, 219, 233. 256, 264, 270.
Kock, IV. 149, 150, 187.
Kœnig. IV, 305.
Konaizewski, II. 304.
Konckoly. II, 283.
Koninck (de), II, 192; III, 142.
Koop, III, 188.
Kossel, IV, 193.

Krafft, IV, 135, 180.
Kratochwilla, III, 8.
Krause, III, 17.
Kreutzer, I, 137, 163, 168, 183, 470, 484; II, 68, 69, 169; III, 20; IV, 110.
Krone, II, 87, 97.
Kruger, I, 204; III, 17.
Krugener, III, 125.
Kundt, II, 316, 328.
Kurtz, I, 451.
Kusel, II, 101.

Laborde, I, 18, 404; II, 32, 46, 60 à 62, 80, 104, 149; III, 21, 56, 65, 199, 216, 228, 231, 240 à 242, 372, 389; IV, 242
Lacombe, I, 298; II, 30.
Lackerbauer, IV, 187.
Laffont de Camarsac, III, 385.
Lagrange, II, 221; III, 163.
Laidlaw, II, 241.
Lainer, II, 274, 284, 288.
Lair de La Motte, II, 276.
Lallemand, III, 331; IV, 312.
Lambert, IV, 349.
Lamey, IV, 226.
Lamy, I, 38; II, 358, 377; III, 109, 112, 208, 225, 234, 249; IV, 58, 355.
Lanet de Limeney, IV, 356.
Lang, I, 484.
Laourenx, II, 302; III, 154; IV, 327.
Larkin, I, 469.
Larmoyer, I, 433
Lassaigne, III, 7.
Lassimone, II, 105, 161.
Latreille, II, 40.
Laurent, I, 44.
Laurent, I, 481.
Laurencie (de la), I, 240, 301.
Laussedat, I, 263; IV, 212, 213, 225, 226, 246, 248 à 250, 252, 254, 264, 270, 271.
Law, I, 470; II, 99.
Lawson-Lisson, II, 20, 160.
Leachman, II, 115.
Leake, II, 136.
Lealand, IV, 111, 120, 168, 171.
Leblanc, IV, 246.
Leborgne, I, 470; II, 133.
Lebreton, II, 147.
Lebrun, IV, 108.
Lecamu, I, 172.
Lecourt, II, 91.
Lécu, I, 479.
Leeuwenhœck, IV, 169.
Lefèvre, III, 9.
Legros, II, 153.
Lehman, I, 143.
Lehnard, II, 280.
Leitz, IV, 111, 120, 188.
Lejendecker, III, 39.
Lejeune, I, 484.
Lemaître, I, 19; III, 336.
Lemercier, I, 20; III, 258.
Lemling, I, 204; III, 191.
Léonard de Vinci, I, 206.
Lerebours, I, 20, 355; II, 89; III, 17, 258, 377; IV, 328.
Lermantoff, IV, 320, 334.
Lespiau, II, 69, 112.
Leth, III, 192, 195.
Leverrier, IV, 224.
Lévison, I, 431.
Lévy, IV, 79.
Lhérisel, I, 278.
Liais, IV, 224, 242.
Lieberkühn, IV, 169.
Lieberman, II, 283.
Liébert, I, 305, 472; II, 62, 434; III, 94, 140, 196, 249; IV, 6, 21, 89, 43, 60, 110.
Liegwart, III, 387.
Liesegang, I, 80, 305, 407, 476; II, 53, 54, 60, 61, 67, 80, 111, 134, 181, 196, 202, 258, 290, 301; III, 25, 58, 69, 94, 99, 103, 104, 108, 111, 118, 130, 135, 140, 164, 167, 249.
Linneman, IV, 155.
Lister, I, 62.
Listing, I, 68.
Liveing, IV, 297, 299.
Livonnius, II, 52.
Llewelyn, II, 150, 161.
Lloyd, II, 220.
Locherer, III, 117.
Lockyer, IV, 297, 298.
Lœve, I, 479.
Lœwy, IV, 202.
Lomb, IV, 112.
Londe (A.), I, 143, 153, 157, 158, 169, 175, 176, 203, 205, 256, 257, 305, 429, 440, 472; II, 261, 263, 269, 273, 301; III, 94, 158; IV, 88, 96, 97, 245, 271, 278, 279, 281, 309, 310.
Lorilleux, III, 290.
Loshe, II, 193, 240, 326.
Lucenay (de), I, 470.
Luckardt, I, 459; II, 377.
Lucy-Fossarieu (de), III, 198, 384, 388.
Ludgers, III, 17.
Lugardon, IV, 16.
Luke, II, 73.
Lumière, II, 255 à 257; IV, 185.
Lutken, I, 188.
Luynes (de), III, 184.

Mac-Clellan, IV, 266, 267.
Mach, IV, 283, 284.
Mackenlay, II, 98.
Mackenstein, I, 277.
Maenair, II, 158.
Mac-Nicol, II, 99.
Maddox, I, 17, 468; II, 33, 103, 204, 221; IV, 187.
Mader, I, 278.
Magny, III, 70.
Maigret, IV, 301.
Majocchi, IV, 213, 223.
Malagutti, IV, 354.
Mallard, IV, 286.
Mallebranche, I, 26.
Malley, IV, 286.
Mallmann, II, 229.
Malone, II, 21, 133.
Mame, IV, 78.
Mannenizza, I, 245.
Mangin, I, 264; II, 166; IV, 264.
Manheim, IV, 225.
Mann, I, 183, 184; II, 142, 148.
Mansel, II, 139.
Mansfield, II, 213, 277.
Maequet, III, 366.
Mareilly, III, 343.

Marchand, III, 160; IV, 352, 359.
Maréchal, I, 21; III, 275, 325.
Mareschal, IV, 309.
Marey, IV, 96, 109, 273 à 279, 281.
Marguerie, II, 227.
Marie, IV, 349.
Marinier, I, 291; II, 136, 161.
Marinoni, III, 293.
Marion, I, 255, 279; II, 16, 278, 334, 339; III, 29, 94, 201, 203, 239, 242, 244, 301 à 302, 366; IV, 58.
Mariot, II, 96.
Marktanner-Turneretscher, III, 22; IV, 140, 141, 143, 154, 155, 195.
Martens, I, 262.
Martin (A.), I, 50, 52, 81, 114, 153; II, 25, 26, 34, 36, 101, 104, 144; III, 12, 22, 198, 338; IV, 240, 272.
Martin, I, 216, 226, 277, 279, 280.
Martinet, I, 187, 216, 226, 227.
Mascart, IV, 289, 290 à 292, 296, 299, 300, 361, 364, 367.
Mason, I, 165.
Masson, IV, 349.
Mather (W.), I, 469.
Matheson, I, 449.
Mathet, II, 281.
Mauduit, I, 163, 166.
Maugey, I, 143, 218.
Maugham, III, 59.
Maughel, III, 260.
Maurey, II, 47.
Maurolicus, IV, 340.
Mawsdley, II, 220; III, 110.
Maxwel-Lyte, I, 218; II, 20, 53, 61, 103, 106, 113, 115, 140, 149, 160, 285; III, 21, 57, 92.
May, IV, 312, 358.
Mayall, II, 61.
Mayer, IV, 186, 187, 226.
Mayer et Pierson, II, 26.
Meagher, I, 218, 229, 487.
Meheux, I, 304.
Meicke, III, 39.
Melhuis, I, 137, 229, 236, 283.
Ménard, II, 54.
Mendozza, I, 202, 246, 286; IV, 32.
Mensbrugge, II, 95.
Mercier, III, 59, 60, 62.
Merget, III, 142, 155.
Merke, I, 449.
Messerschmitt, IV, 337.
Meydenbauer, I, 470; IV, 254.
Meyer, I, 9, 453; III, 293.
Meynard, II, 45.
Meynier, II, 61, 96, 98, 109; III, 21, 39, 58, 66.
Michaud, I, 20; III, 376.
Michelier, IV, 226.
Midwinter, I, 457.
Miers, III, 107.
Miethe, I, 304, 470; III, 103; IV, 189.
Millar, II, 334.
Miller, IV, 234, 235, 238, 295, 296.
Millet, I, 136, 470.
Millon, II, 52; III, 92, 175.
Millot-Brulé, I, 484.
Milsom, II, 335, 346.
Mitschell, I, 143; II, 220.
Mitscherlich, IV, 312.
Moessard, I, 205, 262, 265, 305, 315, 322, 324, 334, 336, 344, 352, 353, 363, 404, 407; IV, 217, 261, 271, 303.
Moigno, IV, 99.
Moisson, III, 98, 194, 385.
Moitessier, III, 12; IV, 125, 129, 137, 141, 143, 160, 161, 165, 169, 174 à 176, 180, 187, 188, 193.
Molteni, I, 272, 313, 315; III, 116; IV, 60, 61, 63, 74, 75.
Monckhoven (Van), I, 17, 18, 23, 35, 62, 112, 113, 181, 205, 305, 355, 407, 471, 472, 479; II, 17, 18, 26, 34 à 36, 40, 49, 51, 54, 55, 58, 60, 62, 64, 68, 70, 78, 85, 86, 88, 94, 97, 99, 103, 108, 117, 119, 134, 141, 143, 164, 168, 202, 205, 206, 213, 214, 238, 240, 242, 248, 255, 258, 261, 278, 290, 292, 301; III, 9, 12, 17, 24, 26, 27, 29, 40, 56, 57, 67, 79, 85, 92, 94, 100, 108, 184 à 186, 201, 203, 213, 227, 237, 248, 249, 274, 306, 336, 337, 348, 360, 367, 373, 381; IV, 10, 12 à 14, 17, 20, 22, 25, 30, 43, 50, 51, 60, 82, 83, 208, 209, 231, 232, 245, 287, 288, 310, 312, 325, 327, 351, 355, 376.
Mongin, II, 140.
Monet, III, 321, 331, 373, 377, 382.
Monrocq, III, 274.
Monserat, IV, 226.
Monshot, II, 180.
Montagna, I, 451.
Montalti, III, 17.
Montangerand, IV, 207.
Montéfiore-Levy, I, 193.
Montaut (de), II, 139.
Moock, III, 274, 321, 331.
Morgan, II, 160, 359; III, 110.
Morrisson, I, 94, 124.
Moser, IV, 328, 339.
Motileff (de), II, 7; III, 161.
Motteroz, III, 318, 321.
Mouchez, IV, 196, 200, 209, 210, 226, 245.
Moule, I, 470.
Moussette, IV, 290.
Mucklow, IV, 357.
Mudd, II, 33, 150, 165.
Muller, I, 470; IV, 168.
Mungo-Ponton, I, 18; III, 187.
Murray, I, 163; II, 175.
Muydbrige, IV, 96, 272, 273, 281.

Nadar, I, 233, 247, 288, 387, 470; IV, 266, 267, 305.
Nachet, IV, 110, 122, 125, 126, 133, 136, 137, 139, 140, 164, 168, 173, 183, 184, 187, 188, 238.

Neck (J. de), I, 244.
Nègre, I, 19; III, 376.
Nelson, I, 474; II, 149, 162, 209, 238, 303; III, 204, 271, 282, 350, 572.
Neuhaus, IV, 187, 189, 193.
Neumann, I, 9, 205.
Newton, I, 16, 27, 48, 292, 319; II, 21, 90, 158 à 160, 171, 177, 178, 182, 183, 197, 201, 274, 275; III, 57, 65; IV, 220.
Neyt, IV, 221.
Nicol, II, 58, 174.
Nicolaysen, I, 453.
Nicole, I, 283, 286.
Nicourt, I, 253.
Niepce (Nicéphore), I, 10 à 13, 18 à 20, 65, 211; II, 7, 13; III, 6, 7, 258, 336.
Niepce (de Saint-Victor), I, 14, 19, 21, 142; II, 27, 33, 34, 36, 40, 333; III, 174, 176, 320, 336, 348; IV, 93, 313, 326, 327, 339, 350, 374, 375.
Noe (de la), III, 259.
Norman, I, 143.
Nottomb, III, 9.
Notton, I, 143, 183.

Obernetter, I, 21, 477; III, 104, 128, 181, 192, 195, 196, 275, 281, 297, 299, 301, 375.
Odagir, II, 242, 248, 290.
Ommeganck, I, 203; II, 113, 115, 168.
Opsor, I, 210.
Ossan, II, 25.
Otte, II, 168.
Ottewil, I, 218, 229.
Otté, III, 301.

Paar, II, 14, 67, 215.
Palmer, II, 205, 221, 244, 250, 335, 355; III, 128.
Pannee (dom), I, 206.
Parson, II, 148.
Pascalis, II, 62.
Pauer, III, 10.
Pauli, II, 219.
Pector, IV, 372.
Pélegry, I, 14, 228, 280; II, 21, 22.
Péligot, II, 35, 187; III, 375.
Peliat, I, 35.
Pellet, I, 433; II, 165, 166
Pelletan, IV, 121, 193.
Pellin, IV, 362.
Pelouze, II, 47.
Penny, I, 184.
Peragallo, IV, 159, 170, 171, 193.
Percy, I, 281; II, 14.
Perron, I, 286.
Perrot de Chaumeux, II, 134, 140, 168; III, 94.
Pertsch, I, 469, 472.
Pesme, II, 116.
Petit, III, 371.
Petit (Pierre), IV, 83.
Petschler, I, 476.
Petzwall, I, 13, 64, 66, 95, 97 à 99, 105 à 107, 109, 116, 127, 131, 145, 205, 222, 337; IV, 8, 17.
Phillips, IV, 218, 226.
Phips, II, 181.
Phipson, III, 170; IV, 314, 353.
Piazzi Smith, I, 469.
Pickering, I, 429; IV, 205, 206, 209, 235, 236.
Pickwel, IV, 309.
Picq, I, 227.
Pinard, IV, 267.
Piquepée, II, 124, 378, 384; III, 94.
Pitteurs (de), II, 55, 174.
Pisani, II, 85.
Pizzighelli, I, 18, 19, 194, 305, 366, 407, 424, 440; II, 214, 235, 280, 285, 295, 382; III, 107, 119, 142, 148, 149, 152, 158, 165, 168, 197, 302; IV, 193.
Placet, I, 20; III, 372.
Plaut, I, 217.
Plener, II, 240, 241, 255, 339.
Plessy, II, 58.
Pline, I, 7.
Ploessl, IV, 111, 122.
Plücker, I, 240, 242; II, 155; IV, 254.
Pocklington, II, 280, 281.
Pohl, IV, 187.
Poilly, II, 139.
Poisot, IV, 78.
Poitevin, I, 14, 18 à 20; II, 6, 7, 33, 34, 125, 151, 164; III, 15, 165, 169, 171, 174, 175, 177, 180, 188, 191, 197 à 199, 241, 254, 269, 269, 273 à 275, 306, 321, 349, 366, 367, 372, 373; IV, 321, 322, 375.
Poitrineau, I, 291.
Pollock, II, 69.
Pons, I, 239, 280.
Ponting, III, 40, 69, 70.
Ponton, IV, 314.
Porro, I, 61, 127, 135, 205, 262, 298; IV, 213, 224, 242.
Porta, I, 65, 206; IV, 98.
Pouillet, IV, 300.
Pouncy, III, 389.
Poupat, III, 59.
Powel, IV, 111, 120, 168, 171, 223.
Prasmowski, I, 64, 84, 85, 122, 123, 152, 354; IV, 210.
Pretchl, I, 62.
Pretsch (P.), I, 19; III, 188, 372, 374.
Price, II, 150.
Pringle, II, 241.
Prinz, IV, 221, 222.
Pritchard, II, 228; IV, 201 206, 339.
Prümm, I, 167; II, 294.
Puech, II, 156.

Quaglio, III, 274.
Queslin, III, 17.
Quéval, I, 258, 460, 480.
Quinet, I, 143; IV, 224.
Quinsac, I, 21, 22; III, 303.

Raboisson, I, 280.
Radau, IV, 310, 347, 359.
Radbrück, II, 144.
Radcliffe, II, 221.
Rancage, III, 372.
Rancogne (de), I, 259, 279.
Rand-Capron, IV, 297.
Roche, II, 277.
Ravet, IV, 180.

Rawson, I, 460.
Rayet, IV, 207, 208, 233, 235, 240, 245.
Rayleigh, I, 303, 304.
Ré, III, 360.
Read, I, 194.
Reade, I, 99; II, 334; IV, 213, 218.
Regnault, I, 14, 460, 489; IV, 287, 364.
Rehn, III, 270.
Reichard, IV, 187, 193.
Reichert, IV, 111, 120.
Reid, II, 223.
Reinmann, II, 272.
Reisset, III, 175.
Reissig, III, 71.
Relandin, I, 218, 222, 278, 298.
Relvas (C.), I, 257.
Remelé, II, 92, 94, 97.
Renard, IV, 267.
Renaud, III, 181.
René, II, 97.
Rettenbacher, II, 47.
Reylander, II, 84.
Reynolds, II, 36, 161; III, 66, 190.
Rheinold, I, 206.
Richard, II, 33.
Riche, I, 471.
Riegel, III, 169.
Ritter, III, 23.
Rivaud, III, 301.
Roberts, II, 113; IV, 203, 209, 210.
Roberval, I, 487.
Robinet, III, 70.
Robinson, I, 261, 442, 452, 456, 472; III, 41, 44, 71, 74, 94; IV, 179.
Robiquet, II, 36, 40, 134, 144, 168; III, 140; IV, 110.
Roche, III, 301.
Rodrigues, III, 257, 261, 262, 321, 331, 380.
Roger, I, 223; II, 66.
Roggerson, IV, 341.
Rohaut, I, 486.
Rohman, IV, 189.
Rollin, I, 264.
Rolloy, I, 459.
Rolman, IV, 108.
Rolof, IV, 341.
Roman, II, 156.
Rommelaere, II, 192.
Ronalds, IV, 286, 288, 289.
Rood, IV, 187.
Roppe, III, 142.
Roscoe, I, 414, 468; IV, 313, 349, 350, 354, 355.
Rose, IV, 375.
Roselcur, III, 377.
Rosenthiel, IV, 370, 372.
Ross, I, 64, 67, 68, 80, 81, 85, 123, 137, 143, 230, 263.
Rossignol, I, 182.
Roth, II, 102.
Rothier, II, 95 à 97.
Rouch, I, 218, 229; II, 136.
Rousselon, I, 20; II, 337; III, 270, 376.
Roussin, II, 31; III, 183, 184; IV, 353.
Roux, III, 274, 306, 321, 331; IV, 187.
Rowland, IV, 298.
Roy (Le), I, 252.
Rückert, I, 227, 250.
Rude, IV, 186.
Rue (de La), I, 163; IV, 208, 213, 214, 218, 222, 226, 231, 232,
Rumford, IV, 317.
Russel, I, 15; II, 142, 147, 151, 152, 154, 155, 162, 165 à 168, 171; III, 107.
Rutherfurd, IV, 205, 208, 214, 215, 219 à 222, 297 à 299.
Ryley, II, 149.

Sabatier-Blot, I, 293.
Sabattier, II, 133.
Sabouraud, IV, 252.
Sainte-Claire-Deville, IV, 286.
Saint-Hilaire (de), II, 158.
Saint-Florent (de), I, 21; II, 159; III, 198, 241; IV, 376, 377.
Salcher, IV, 283.
Salet, IV, 347.
Salicis, IV, 225.
Salleron, IV, 289.
Salmon, I, 20; III, 192 à 194.
Salomon (A.), I, 450, 460, 464; II, 375; III, 79.
Samman, II, 206.
Sanders, II, 144.
Sarrau, II, 46.
Sars (de), I, 292.
Sartirana, III, 320.
Sauret, I, 226, 277.
Savart, IV, 285.
Sawyer, III, 225, 375; IV, 356.
Sayce, I, 16; II, 169 à 171, 187, 195, 200, 201, 206, 239.
Scamoni, III, 336.
Schaeb, I, 293.
Schall, IV, 354.
Schauberth, III, 191.
Scheele, I, 8; III, 23; IV, 373.
Scheinder, II, 46.
Schiefferdecker, IV, 193.
Schlegel, II, 276.
Schletterhoss, III, 117.
Schlicht, II, 304.
Schlippe, II, 294.
Schlumberger, II, 58.
Schmid, I, 66; III, 183; IV, 111, 155.
Schmiers, III, 293.
Schnauss, I, 397, 399, 471; II, 31, 61, 77, 98, 134, 158, 168, 258, 289; III, 21 à 23, 39, 163, 306; IV, 315, 333.
Schnilder, III, 38.
Schnitzer, I, 78, 132, 146.
Schott, I, 39, 94, 126, 350; IV, 119.
Schoenbein, II, 41; IV, 314.
Schouwaloff, II, 132.
Schranck, III, 100, 273.
Schroder, IV, 214, 222, 244.
Schroetter, II, 47.
Schuller, I, 262.
Schulze, I, 8; IV, 170.
Schumann, II, 206, 223, 233, 316, 317, 326.
Schürer, II, 297.
Schwier, III, 73.
Scotellari, I, 449.
Sébert, I, 180, 181, 205, 426 à 428, 443; IV, 279, 281, 284, 285, 364.

Secchi, IV, 223, 226, 236.
Secretan, I, 62, 142, 205, 328, 355, 376.
Seebeck, I, 21, 471; III, 23; IV, 373.
Seely, III, 56, 99.
Séguier, I, 211; III, 9.
Seibert, IV, 111, 120, 122, 135, 180.
Seignette, III, 129, 142.
Sella, II, 26.
Selle, II, 11, 294.
Sennebier, I, 8, 21; III, 23.
Serin, I, 470.
Shadboldt, I, 300; II, 69, 139; IV, 267.
Shawcross, III, 170.
Shaw, IV, 109.
Shaw-Smith, II, 17.
Shermann, II, 196, 217; III, 66.
Shepper, I, 229.
Siedebotham, I, 172.
Siemens, IV, 358.
Sillmann, I, 470.
Silvy, I, 264, 283, 286, 299, 449.
Siméon, II, 209.
Simonoff, I, 162; IV, 368.
Simons, II, 368.
Simpson (Warton), I, 18, 404, 406, 447; II, 109, 111, 163, 165, 381, 382; III, 38, 58, 99, 104, 107; IV, 374.
Singer, II, 178, 183.
Sisson, II, 96, 97.
Skaife, I, 196, 198, 242, 470.
Slatter, I, 137.
Sledon, II, 158.
Slingsby, I, 457, 459.
Smartt, II, 136.
Smith, I, 246, 291; III, 128; IV, 98, 190 à 192.
Snelling, II, 26; III, 17.
Sobacchi, III, 197.
Sœhnée, II, 339.
Solomon, I, 469.
Sommer, I, 99, 124.
Sonrell, IV, 215.
Soret, IV, 159.
Sothern, II, 280 à 282.
Soulier, III, 208; IV, 96.
Spencer, IV, 306, 356.
Spiller, I, 304, 471; II, 46, 58, 109, 139, 207, 283, 297; III, 65, 67, 84, 100, 133.
Spinke, II, 221.
Spurge, IV, 357.
Srezwniewski, II, 238.
Srna, II, 282.
Stass, II, 88, 206, 209; III, 84, 93.
Stebbing, I, 181, 284; II, 188, 240, 335, 356, 358.
Stein, I, 176, 293; II, 188; III, 293; IV, 194, 289, 347, 359.
Steinglein, IV, 194.
Steinheil, I, 64, 82, 83, 92 à 94, 108 à 117, 141, 182, 152; IV, 204, 229, 240, 314, 331.
Stephenson, IV, 171, 187.
Sternberg, III, 57; IV, 194.
Steward, II, 22.
Stillmann, II, 174, 183.
Stolze, I, 291; II, 217, 220, 238; III, 40, 109, 114; IV, 59, 86, 254, 345.
Stosch, II, 215, 304, 305.
Struve, IV, 207, 223.
Stuart, IV, 21, 96.
Stuart Wortley, I, 16, 448, 476; II, 54, 81, 97, 98, 118, 170, 178, 179, 194, 196, 201, 213, 272; III, 38.
Sturenberg, II, 77.
Suchow, III, 187.
Sutton, I, 16, 79, 80, 112, 127, 173, 230, 246, 263, 305; II, 16, 26, 31, 52, 53, 58, 60, 62, 86, 104, 134, 140, 147, 158, 160, 162, 165, 168, 170, 174, 194, 201, 381, 382; III, 15, 16, 21, 176, 180.
Sturm, I, 54.
Swan, I, 18, 168, 412; II, 126, 339; III, 110, 200 à 203, 207, 216, 237, 329.
Sweejzer, I, 460.
Swift, IV, 112, 168.
Székély, II, 214, 221, 239, 255.
Talbot, I, 11 à 13, 18, 19, 65, 217; II, 10, 12, 14 à 16, 21; III, 7, 20, 188, 340; IV, 314.
Taupenot, I, 14, 397, 400; II, 37, 142, 143, 146, 147, 150, 333, 337; III, 316, 346; IV, 72, 95, 105, 215, 226, 230.
Taylor, I, 327, 470; II, 202; III, 20, 95, 96; IV, 357.
Tennant, IV, 226.
Terpereau, II, 137; IV, 226.
Terreil, III, 133.
Terry, IV, 321.
Tessié du Motay, I, 21; III, 275, 303, 385; IV, 50.
Thénard, IV, 312, 317.
Testelin, IV, 43, 327.
Thiébaut, II, 349, 352.
Thiele, II, 118.
Thomas, I, 484; II, 58.
Thompson, III, 170; IV, 226.
Thomson, I, 243; III, 53, 69.
Thornwaite, II, 46; III, 12.
Thouret, IV, 12.
Thouroude, I, 433, 479.
Thurston, IV, 185.
Thury, IV, 267.
Thury et Amey, I, 179 à 181.
Tichborne, III, 71.
Tilghmann, III, 387.
Tillard, I, 279.
Titus Albitès, I, 292.
Tolles, IV, 112, 122, 125, 168.
Tomassi, IV, 318.
Tondeur, III, 139.
Toowey, III, 269, 346.
Torres (de), IV, 254.
Toth, II, 62, 96, 112, 115, 195, 199, 206, 207, 215, 218, 221, 222, 280, 282, 283, 294, 297, 298, 305; III, 137.
Tournemire (de), IV, 265, 266.
Tourtin, I, 246.

Towler, II, 87, 100, 134, 155, 156; III, 17, 99, 355.
Trask, III, 17.
Trépied, IV, 203, 207.
Trévaux, I, 166.
Triboullet, IV, 267, 268.
Tronquoy, III, 191.
Troost, I, 470; IV, 286.
Trouvelot, IV, 288, 290, 291.
Troy, IV, 187.
Trutat, I, 280, 281; IV, 156, 187, 194, 226, 310.
Tulley, II, 84.
Tunny, II, 98.
Tylar, I, 277.

Usherwod, IV, 232.

Valette, I, 168; II, 135.
Valicourt (de), II, 26, 36, 40; III, 17, 65.
Vallot, I, 21, 329; II, 117; IV, 377.
Vanakère, I, 491.
Vauquelin, I, 18; III, 187.
Vavasseur, I, 238.
Verdet, I, 62.
Vergeraud, III, 188.
Vérick, IV, 111, 188.
Vérignon, III, 7, 20.
Vernon-Heath, I, 254; II, 103.
Verneuil, IV, 39.
Vernier, IV, 226.
Vetzlar, IV, 374.
Vialannes, IV, 113, 153, 165, 194.
Vidal (L.), I, 18, 22, 250, 273, 276, 278, 305, 407, 417, 418, 429, 440; II, 166, 343; III, 94, 115, 201, 207, 222, 225, 236, 237, 243, 249, 284, 297, 306, 321, 329, 331, 360, 367, 377, 378, 382; IV, 30, 358, 368.
Vieille, II, 46.
Vieuille, I, 407, 440, 472; II, 11; III, 32, 94.
Vilette, IV, 28.
Villon, III, 388.
Vinois, I, 447; II, 121.
Violle, IV, 360, 372.
Violin, II, 333, 344.
Vitruve, I, 7.
Vivien, I, 277.
Vogel (H.), I, 17, 204, 305, 407, 412, 419, 440, 452, 460, 468, 469, 472; II, 61, 66, 72, 73, 77, 80, 85 à 87, 104, 112, 134, 160, 168, 201, 206, 208, 215, 222, 224, 279, 285, 294, 302 à 305, 315 à 317, 319, 320, 322, 325, 328, 331, 369, 377, 378; III, 25, 29, 41, 71, 94, 115, 124, 152, 189, 225; IV, 43, 86, 112, 177, 187, 203, 214, 222, 226, 297, 299, 310, 313, 316, 322, 329 à 332, 335, 336, 338, 347, 351, 353, 356, 359, 378.
Voigtlander, I, 94, 98, 105, 107, 124 à 126, 132, 142, 146, 237, 249, 379, 380, 381, 383; IV, 85.
Volkmer, III, 366.
Volpicelli, IV, 360.
Voyle, II, 68, 79.
Voytot, I, 449.
Vylder (de), II, 152; III, 154.

Waidels, IV, 339.
Wainwrigth, II, 205.
Waite, III, 111.
Waldack, II, 95 à 97, 136.
Wales, IV, 122, 222.
Wallaer, II, 24.
Waller, I, 460.
Wanaus, I, 296.
Warnerke, I, 16, 284, 300, 321, 329, 351, 414 à 416, 429; II, 53, 54, 190, 192, 196 à 198, 236 à 238, 241, 244, 259 à 261, 331, 335, 344, 345; III, 121, 366; IV, 326, 335, 338 à 350, 352, 357, 372.
Watherouse, I, 17; II, 316; III, 11, 21, 268, 271, 273, 300, 329, 347, 375; IV, 227, 328, 338.
Watson, I, 229, 230, 254; II, 158, 241; IV, 112.
Wheatstone, IV, 98, 99.
Weebster, I, 147, 351.
Weeger, II, 34.
Wegwood, I, 9.
Weheler, II, 35.
Weiler, II, 61.
Weiske, III, 17.
Weissenberger, II, 325.
Welh, I, 402.
Wellington, II, 220, 281; III, 127.
Welsh, IV, 214.
Wenderoth, II, 61, 339.
Wenham, IV, 173.
Werger, II, 81.
Werndl, IV, 284.
Werner, III, 293.
Werske, I, 293.
Weselsky, IV, 187.
Weyde (Van der), I, 450, 470.
Wicke, IV, 312.
Wigham, I, 470.
Whiple, IV, 208, 218, 226.
Wilde, II, 62, 193, 216, 220, 293, 335.
Wilhams, II, 358.
Wilkinson, II, 200, 275; III, 28.
Willat, I, 17.
Willemin, IV, 43.
Williams, I, 163; II, 315.
Willis, I, 19; II, 268; III, 132, 142, 188, 189; IV, 35.
Wilson, II, 176, 183, 217.
Window, I, 260.
Winlock, IV, 226.
Winther, II, 115.
Wiple, II, 33.
Witanstley, III, 330.
Witworth, I, 301.
Wolff, IV, 203, 242, 303.
Wolfram, I, 80, 195; III, 22.
Wollaston, I, 21, 65; IV, 295.
Wood, II, 17, 61.
Woodbury, I, 20, 219, 276; II, 7, 338, 341, 346, 354, 359; III, 220, 349, 360, 361, 364 à 367, 374; IV, 268, 355.
Woods, IV, 351.
Woodward, IV, 11 à 14, 21, 22, 125, 144, 165, 168, 172, 180, 187.
Woo'cot, I, 460.

Woortley, IV, 93, 96.
Wortley (Stuart), I, 16, 448, 476; II, 54, 81, 97, 98, 118, 170, 178, 179, 194, 196, 201, 213, 272.
Wothly, III, 170, 176, 179, 180; IV, 13.
Wraten, II, 205.
Wulf, I, 471.
Wyard, III, 385.

York, I, 255; IV, 87.
Young, I, 26.
Yungmann, I, 275.
Yvon, IV, 165.

Zantedeschi, I, 476.
Zeiss, IV, 85, 86, 111, 112, 120, 122 à 125, 127, 130, 131, 135, 139, 149, 151, 154, 158, 159, 163, 164, 167, 168, 174, 180, 183, 184, 187, 188, 192, 194.
Zeiss (R.), IV, 187.
Zentmayer, I, 83, 205; IV, 112, 113, 169, 176.
Zenger, IV, 214, 228, 244, 339.
Zetnow, I, 53, 327; IV, 159.
Ziégler, I, 399, 400.
Zinken, I, 205.
Zion, I, 181.
Zschocke, I, 194.

TABLES DES FIGURES

TABLE DES FIGURES DU PREMIER VOLUME

1. Épreuve négative..... 10
2. » positive..... 11
3. Ondulations..... 27
4. Rayon réfracté..... 31
5. Foyer principal..... 32
6. Ménisque convergent..... 36
7. » divergent..... 36
8. Lentille biconvexe..... 36
9. » biconcave..... 37
10. Ménisque convergent..... 37
11. » divergent..... 37
12. Lentille plan convexe..... 37
13. » plan concave..... 37
14. » plan convexe..... 37
15. » plan concave..... 37
16. Colloir..... 43
17. Éléments cardinaux..... 48
18. Points nodaux..... 48
19. Foyers principaux..... 49
20. Banc de A. Cornu..... 51
21. Aberration sphérique..... 55
22. Courbure du champ..... 56
23. Profondeur de foyer..... 56
24. Effet du diaphragme..... 57
25. Surface quadrillée..... 58
26. Distorsion en barillet..... 58
27. » croissant..... 58
28. Astigmation..... 59
29. Effet du diaphragme..... 59
30. Objectif simple ancien..... 65
31. » » ordinaire..... 65
32. » » nouveau..... 65
33. » simple..... 67
34. » grand angulaire simple 69
35. » » » 76
36. » simple pour stéréoscope. 76
37. Objectif rapid landscape..... 77
38. » rectilinar landscape... 77
39. » globe..... 78
40. » » 79
41. » doublet de Ross..... 81
42. Objectif périscope Steinheil.... 82
43. » pantoscope..... 84
44. » panoramique..... 85
45. » périgraphique..... 86
46. Tache centrale..... 88
47. » 89
48. Objectif rectilinéaire grand angle..... 89
49. Objectif rectilinéaire grand angle..... 90
50. Objectif aplanat grand angle... 92
51. » » pour reproductions..... 93
52. » double..... 96
53. Diaphragmes..... 97
54. Objectif égaliseur..... 100
55. » patent Dallmeyer..... 101
56. » » » 102
57. » » » 102
58. » » » 104
59. » rectilinéaire à portraits. 106
60. » antiplanats à portraits. 109
61. » antiplanats pour groupes..... 110
62. » aplanats..... 112
63. » » 113
64. » » paysage..... 115
65. » rectilinéaire grand angle 118
66. » » rapide..... 119
67. » » » 119
68. » aplanétique..... 120
69. » » 122
70. » » 123
71. » » 124
72. » simple..... 128
73. » » 128
74. » » 130
75. » orthoscopique..... 131
76. » Chevalier..... 133
77. » » 134
78. » » 134

79. Obturateur à cône..... 135
80. » » 135
81. » Hermagis..... 136
82. » » 136
83. » trousse Berthiot..... 139
84. » » » 139
85. » » » 140
86. » » » 141
87. Ancien diaphragme..... 144
88. Diaphragme rotateur..... 144
89. » » 144
90. » à vannes..... 145
91. » tournant..... 145
92. » iris..... 146
93. Place de l'obturateur..... 153
94. » » 154
95. Effet du diaphragme..... 155
96. Ouverture de l'obturateur..... 156
97. » » 156
98. » » 156
99. » » 157
100. Obturateur à guillotine..... 159
101. » » 160
102. » incliné..... 161
103. » H. de Molard..... 162
104. » » 162
105. » » 162
106. » Mauduit..... 163
107. » » 164
108. » » 164
109. » Burton..... 165
110. » » 166
111. » Hennyngton..... 166
112. » Gilonna..... 167
113. » fantôme..... 168
114. » Londe-Dessoudeix.. 170
115. » » .. 170
116. » » .. 170
117. » » .. 170
118. » » .. 171
119. » Darlot..... 171
120. » Lecanu..... 172
121. » » 172
122. » Berthiot..... 173
123. » Londe..... 174
124. » » 174
125. » » 174
126. » » 175
127. » » 175
128. » » 175
129. » » 176
130. » » 176
131. » » 176
132. » centra' 177
133. » Thury et Amey..... 179
134. Obturateur Thury et Amey..... 180
135. » » 181
136. » Zion..... 181
137. Obturateur Français..... 182
138. » Steinheil..... 182
139. » Guerry..... 183
140. » » 183
141. » Calame, Penny..... 184
142. » » » 184
143. » » » 185
144. » Dallmeyer..... 186
145. » » 186
146. » » iris..... 187
147. » Martinet..... 188
148. » Lutken..... 189
149. » » 189
150. » » 190
151. » » 190
152. » » 191
153. » » 191
154. » » 191
155. » Bocca..... 192
156. » » 192
157. » Zschocke..... 194
158. » » 194
159. » Guerry, à volet..... 195
160. » » » 196
161. » Audra..... 197
162. » » 197
163. » » 197
164. » Guerry, double volet 198
165. » Bocca..... 199
166. » » 199
167. » de La Baume Pluvinel 200
168. » » » 201
169. » Mendozza..... 202
170. Chambre noire à tiroir..... 207
171. » » » 208
172. » » à soufflet..... 210
173. » » » 210
174. » » anglaise..... 211
175. » » base rentrante. 212
176. » » base ployante.. 213
177. » » soufflet tournant 214
178. » » pour reproduct. 215
179. » » » » 215
180. Chariot multiplicateur..... 216
181. Chambre Defrance..... 218
182. » Civiale..... 221
183. » soufflet tournant..... 223
184. » » de voyage..... 223
185. » » » 223
186. » de Jonte..... 224
187. » » 224
188. » » 225

189. Planchette d'objectif..... 226
190. Chambre Martinet..... 226
191. » » 227
192. » » 227
193. » Pélegry..... 228
194. » anglaise..... 229
195. » » 229
196. » » 230
197. » de Ross..... 230
198. » » 230
199. » » 230
200. » Express Nadar..... 231
201. » » » 231
202. » » » 231
203. » » » 231
204. » » » 231
205. » » » 231 et 232
206. » » » 232
207. » » » 233
208. » » » 234
209. » » » 234
210. » » » 234
211. » Mac Kellen..... 235
212. » » 235
213. » » 235
214. » métallique..... 236
215. » » 237
216. » » 237
217. » Pons..... 238
218. » Dubroni et Candèze.. 239
219. » » » .. 239
220. » » » .. 240
221. » scénographe 241
222. » Fetter..... 242
223. » alpiniste..... 243
224. » colis postal..... 244
225. » Tourtin..... 245
226. » » 245
227. » » 245
228. » » 246
229. » Mendozza..... 246
230. » détective Nadar..... 247
231. » » » 248
232. » Kodak..... 248
233. » » 248
234. » » 248
235. » Hanau..... 249
236. » » 249
237. Châssis Hanau..... 249
238. Chambre Martinet..... 250
239. En-cas photographique..... 251
240. Chambre Steinheil..... 252
241. » » 252
242. » Le Roy..... 252
243. » Photosphère..... ... 253
244. Chambre Watson 254
245. Viseur iconomètre..... 254
246. Chambre reporter..... 255
247. Obturateur stéréoscopique..... 256
248. Chambre stéréoscopique..... 258
249. » » 258
250. » jaminoscope..... 258
251. » » 259
252. » de Rancogne..... 259
253. Support stéréoscopique..... 260
254. Châssis Siamois..... 261
255. » » 261
256. Fond Siamois 261
257. Chambre panoramique..... 263
258. Points nodaux..... 265
259. » » 265
260. Point de vue..... 266
261. Fixité d'image..... 266
262. Cylindrographe Moessard..... 267
263. » » 267
264. » topographique. 268
265. Châssis Moessard..... 268
266. Support de cylindrographe..... 270
267. Vue panoramique..... 270
268. Crémaillère panoramique..... 271
269. Appareil Benoist..... 271
270. Chambre revolver..... 272
271. Chambre « le Touriste »..... 273
272. Châssis à papier..... 280
273. » » 280
274. » » 281
275. » » 281
276. » à rouleau..... 283
277. Châssis Nicole..... 284
277 *bis*. » Mendozza..... 284
278. » Perron..... 285
279. » Eastman 286
280. » » 286
281. » » 287
282. » » 287
283. » » 288
284. Marqueur Nadar..... 288
285. Châssis Eastman..... 289
286. Multiplicateur P. Henry..... 290
287. » » 291
288. Boîte à escamoter..... 292
289. Pied d'atelier..... 294
290. » » 295
291. » pour reproductions..... 296
292. » » 297
293. » de voyage..... 298
294. » pour long tirage 299
295. » de Barrau..... 300
296. Tête de pied..... 301
297. Chambre sur pied..... 302

298. Stabilité du pied..... 303
299. Adapteur Molteni..... 313
300. » » 314
301. » » 314
302. Tourniquet Moessard..... 322
303. » » 323
304. Tige du tourniquet..... 324
305. Point nodal..... 324
306. » » 324
307. » fixé..... 324
308. Longueur focale..... 326
309. Points nodaux..... 327
310. Distance focale..... 327
311. Focabsolumètre..... 328
312. Distance focale..... 329
313. Points focaux..... 330
314. Points nodaux..... 330
315. Axe optique..... 331
316. Surface focale..... 333
317. Sa section horizontale..... 334
318. Test focimètre..... 335
318 *bis*. Mire de netteté..... 337
319. Champ plan maximum..... 337
320. Angle du champ..... 337
321. Distance hyperfocale..... 340
322. Distorsion..... 343
323. » en dedans..... 344
324. » en dehors..... 344
325. Calcul des radiations..... 346
326. Clarté des objectifs..... 352
327. Test focimètre..... 354
328. Mire..... 355
329. Mauvais centrage..... 356
330. Rapport de clarté..... 361
331. Place du diaphragme..... 363
332. Profondeurs d'objets..... 364
333. » de foyer..... 367
334. Grandeur des images..... 376
335. Prisme redresseur..... 383
336. Chambre Acmé fermée..... 385
337. » » sur pied..... 385
338. » prête à être montée... 385
339. » » » .. 385
340. » Acmé pour longs foyers. 385
341. » » pour courts foyers. 385
342. Planchette d'objectif..... 388
343. Chevalet à reproductions..... 389
344. Planchette à parallélisme..... 390
345. Parallélisme de plans..... 390
346. Planchette à vérifications..... 390
347. Champ angulaire..... 398
348. Chercheur focimétrique..... 401
349. » » 402
350. » » 402
351. Loupe pour mise au point..... 403
352. Loupe pour mise au point..... 403
353. » » » 403
354. Changement de diaphragmes... 404
355. » » ... 405
356. » » ... 405
357. Objets en mouvement..... 421
358. Temps de pose effectif..... 427
359. Rendement..... 428
360. Emploi du diapason..... 429
361. Chûte des corps..... 430
362. Courbes de chute..... 432
363. Guillotine rectangulaire..... 435
364. » circulaire..... 435
365. » biconcave..... 435
366. » à deux lamelles..... 435
367. Atelier vitré..... 441
368. Plan de l'atelier..... 442
369. Atelier vitré..... 443
370. » » 444
371. Atelier forme tunnel..... 444
372. Ferrures d'atelier..... 445
373. » » 445
374. Ancien atelier..... 446
375. » » 446
376. Atelier tunnel..... 447
377. » Silvy..... 447
378. » Stuart Wortley..... 448
379. » » 448
380. » avec écrans..... 449
381. Fond Salomon..... 451
382. Stores pour vitrage..... 453
383. Place du modèle..... 453
384. Formules d'éclairage..... 454
385. Disposition des mains..... 454
386. Place du modèle..... 455
387. Écran de tête..... 456
388. » » 456
389. Détails de l'écran..... 457
390. » » 457
391. » » 457
392. » » 457
393. Châssis Slingsby..... 458
394. Écran de Prümm..... 459
395. » de Midwinter..... 459
396. Réflecteur Salomon..... 459
397. Écran d'Angerer..... 459
398. Réflecteur Klary..... 460
399. » » 460
400. Support fixe-œil..... 461
401. Montage des fonds..... 461
402. Abri de chambre..... 462
403. Trone de pyramide..... 463
404. Courbure du champ..... 464
405. Portrait en chambre..... 465
406. Éclairage à 45°..... 465

407. Lignes supportées 466
408. Choix du sujet 466
409. Ligne diagonale 466
410. Composition d'un sujet 466
411. Supporter l'angle 467
412. Vue symétrique 467
113. Vue de rue 467
414. Opposition d'ombre 468
415. Limiter une vue 468
416. Vue de face 468
417. » de monument 468
418. Lampe au magnésium 469
419. Plan d'un cabinet noir 473
420. Prise d'air 474
421. Armoire-laboratoire 475
422. Lanterne Henry 476
423. » inclinée 477
424. » ordinaire 477
425. » Enjalbert 478
426. » » 478
427. Cuvette plate 479
428. » à recouvrement 479
429. » à grande dimension 480
430. Porte-entonnoir 480
431. Filtres à précipités 480
432. » à plis 481
433. » » 481
434. Éprouvette graduée 481
435. Verres gradués 481
436. Support-séchoir 482
437. Égouttoir 482
438. Support simple 483
439. Planchette à polir 484
440. Cadre à développer 484
441. Pistolet porte-glace 484
442. Châssis à barrettes 485
443. » positif 485
444. » anglais 486
445. » à crochets 486
446. Trébuchet de laboratoire 487
447. » sous cage 487
448. Mortier de verre 489
449. Cuve à lavage 489
450. » » 490
451. » en zinc 491
452. Calibres à découper 491

TABLE DES FIGURES DU DEUXIÈME VOLUME

453. Séchage du papier 10
454. Sensibilisation du papier 15
455. » des glaces 28
456. Image négative 42
457. » positive 43
458. Distillation de l'éther 56
459. Étendre le collodion 74
460. Recueillir le collodion 75
461. Sensibilisation du collodion 83
462. Séchage du négatif 118
463. Laboratoire portatif 138
464. Dissoudre le nitrate d'argent 184
465. Précipiter l'émulsion 185
466. Lavage de l'émulsion 186
467. Agitateur pour l'émulsion 187
468. Étendre l'émulsion 190
469. Collodio-bromure sur verre 191
470. Recueillir l'émulsion 192
471. Sensibiliser l'émulsion 199
472. Lanterne d'atelier 226
473. Lampe phare 227
474. Mélanger le nitrate 229
475. Récolte de l'émulsion 232
476. Lavage de l'émulsion 232
477. Séchage de l'émulsion 233
478. Niveler les glaces 245
479. Chauffage des glaces 246
480. Cadre à niveau 246
481. Prise d'air pour séchoir 248
482. Séchoir Kennet 248
483. » à appel d'air 249
484. » Chardon 250
485. Étuve Burton 251
486. » » 252
487. » » 252
488. Sensitomètre Warnerke 260
489. Table pour développer 264
490. Laveuse pour plaque 287
491. Gélatino-bromure sur papier 346
492. Émulsion sur papier 348
493. Stirator Dessoudeix 358
494. Pupitre à retoucher 363
495. Miroir fixe 363
496. » mobile 363
497. Pupitre perfectionné 364
498. Éclairage du négatif 365
499. Crayon à retouche 365
500. » d'artiste 365
501. Muscles de la face 369
502. » » 370
503. » » 370

TABLE DES FIGURES DU TROISIÈME VOLUME

504. Albuminage du papier..... 31
505. Pince américaine..... 32
506. Retirer le papier..... 34
507. Séchage du papier..... 35
508. Tendeur sécheur..... 35
509. » » 36
510 à 512. Châssis sans glace..... 43
513. Insolation sans châssis-presse... 44
514. Ressort pour insolation,..... 44
515. » ouvert 44
516. Dégradateur..... 45
517. » du commerce..... 46
518. » » 46
519. » » 46
520. Calibre ovale..... 48
521. — carré..... 48
522. Fonds russes..... 50
523. » » 50
524. Lame à couper..... 51
525. Fourreau pour lames..... 51
526. Laveuses à épreuves..... 68
527. Laveuse Ponting..... 69
528. » » 70
529. » » 70
530. Cylindre à satiner..... 77
531. » » à chaud..... 77
532. Chevalet à sécher..... 80
533. Presse à bomber..... 83
534. » » 83
535. » » 83
536. Vase à syphon intermittent..... 91
537. Châssis à ventouse..... 102
538. » » 102
539. Laveuse Faller à syphon..... 113
540. Étuve à dessiccation..... 145
541. Boîte à chlorure de calcium..... 146
542. Étui pour conserver le papier .. 147
543. Cuvette à développement..... 153
544. Préparation du papier mixtionné. 206
545. Raclette en caoutchouc..... 211
546. Cuvette à bascule..... 212
547. Sensibilisation du papier au charbon..... 212
548. Pinces américaines..... 214
549. Séchage du papier..... 214
550. Photomètre Woodbury..... 220
551. » Vidal..... 220
552. Cellules Vidal..... 223
553. Graduateur..... 224
554. Presse Poirier..... 266
555. Glaces rodées..... 280
556. Appareil à filtration chaude..... 280
557. Barres de l'étuve..... 282
558. Étuve Alauzet 283
559. Table à étendre..... 284
560. Cuve à dégorger..... 285
561. Rouleau de gélatine..... 289
562. Machine Alauzet..... 290
563. Étuve à épreuves..... 294
564. Presse typographique..... 296
565. » Albert..... 297
566. » » 299
567. Étuve Roger..... 304
568. Châssis à vis..... 305
569. Tournette à crochets..... 305
570. » manivelles..... 309
571. Boîte à résine à manivelle..... 322
572. » à ventilateur 323
573. Grain de la gélatine, ... 327
574. Châssis à insolation..... 338
575. Repères de châssis..... 339
576. Presse à taille douce..... 343
577. Machine à taille douce..... 344
578. Armoire à chlorure de calcium . 350
579. Presse hydraulique. 352
580. Lame d'acier..... 353
581. Laminoir pour papier..... 355
582 Bains-marie pour l'encre..... 356
583. Presse à impression..... 357
584. Table à imprimer..... 358
585. Tampon à vernir..... 359
586. Cuvette à dépouillement..... 362
587. Cylindre à satiner..... 363
588. Cuvette pour cuivrage..... 364
589. Presse Woodbury..... 365

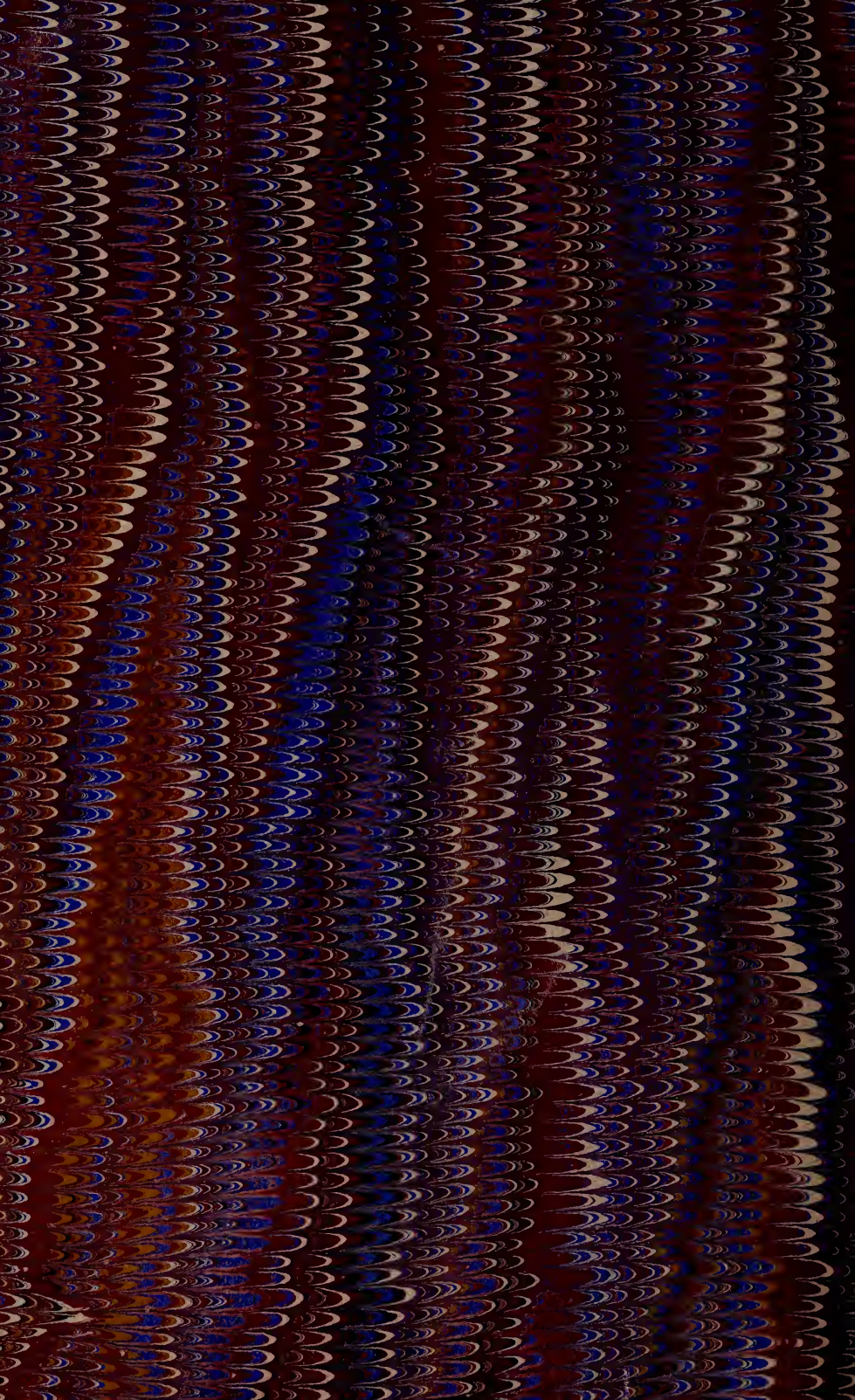
TABLE DES FIGURES DU QUATRIÈME VOLUME

590. Chambre solaire Hermagis..... 14
591. Appareil d'agrandissement..... 15
592. Appareil à héliostat..... 21
593. Profondeur de foyer..... 22
594. » » 23
595. Chambre automatique..... 23
596. Chambre à portraits..... 23
597. Mégascope de Bertsch..... 24
598. » de Chevalier..... 25
599. Chambre à agrandissements.... 32
600. » » 33
601. » » 33
602 Chevalet universel..... 34
603. Points conjugués..... 42
604. Lanterne au pétrole (Molténi).. 44
605 Coupe de l'appareil..... 45
606. Lampe bec rond..... 45
607. Lampe à plusieurs mèches..... 46
608. Éclairage électrique..... 47
609. Chalumeau oxhydrique..... 47
610. Chalumeau à alcool..... 48
611. Appareil d'agrandissement à colonne..... 49
612. Dispositif d'éclairage..... 50
613. Centrage du point lumineux.... 52
614. Dimension du condensateur.... 53
615. Appareil à oxygène..... 54
516. Appareil à hydrogène..... 55
617. Disposition du chalumeau..... 56
618. Disposition des sacs..... 56
619. Cadre de papier..... 63
620. Diamètre des projections..... 64
621. Écran lacé..... 65
622. Support mobile..... 66
623. » » 66
624. Lanterne double Molténi..... 67
625. Double lanterne anglaise..... 68
626. Appareil double vertical..... 69
627. Appareil triple vertical..... 70
628. Mégascope pour corps opaques.. 71
629. » perfectionné..... 71
630. Objectifs pour photomicrographie..... 79
631. Loupe Stanhope..... 81
632. Bain de sable..... 81
633. Chambre à main (Londe)..... 88
634. Éclairage du sujet..... 91
635. Maximum d'éclairage..... 91
636. Mise au point..... 92
637. Mise au point..... 93
638. Planchette stéréoscopique..... 100
639. Chambre stéréoscopique..... 101
640. Chambre de Bertsch..... 102
641. Chambre automatique positive . 105
642. Support Dumaige..... 112
643. Tête de vis micrométrique..... 113
644. Microscope de Zeiss..... 114
645. Platine mécanique..... 115
646. Appareil à centrer,..... 116
647. Condenseur achromatique..... 126
648. Condenseur Abbe..... 127
649. Condensateur à grand angle.... 128
650. Diaphragme à tube..... 128
651. Banc optique..... 129
652. » » de Zeiss..... 130
653. Grand appareil Zeiss..... 131
654. Appareil vertical..... 132
655. Grande chambre Nachet..... 134
656. Appareil Seibert..... 134
657. Dispositif Nachet..... 135
658. Appareil vertical..... 136
659. Appareil à petites épreuves..... 137
660. Appareil Nachet..... 138
661. Appareil incliné..... 139
662. Appareil coudé..... 140
663. Prisme instantané..... 141
664. Appareil Nachet..... 142
665. Appareil à objets opaques..... 143
666. Appareil à lumière solaire..... 145
667. Héliostat Prasmowski..... 145
668. Lumière électrique..... 152
669. Lampe électrique..... 153
670. Lumière oxhydrique..... 155
671. Adapteur (coupes)..... 163
672. Adapteur (détails)..... 163
673. Oculaire stéréoscopique..... 175
674. Appareil Francotte..... 181
675. Appareil Seibert..... 181
676. Appareil simple Zeiss..... 184
677. Appareil à petites épreuves.... 189
678. Équatorial photographique..... 196
679. Macro-micromètre..... 200
680. Confection du canevas..... 247
681. Angle de visée..... 247
682. Construction d'un point..... 249
683. Confection de la carte..... 251
684. Pied à calotte sphérique..... 255
685. Hauteur d'un édifice..... 256

686. Échelle du plan..... 257
687. Plan d'un terrain..... 258
688. Mesure de l'azimut..... 259
689 Effet de la distorsion..... 259
690. Centre de rotation..... 260
691. Perspective cylindrique..... 261
692. Cylindrographe topographique.. 262
693. Graduation du cylindrographe.. 262
694. Châssis souple..... 262
695. Cerf-volant photographique.... 269
696. Spectrographe Vogel..... 300
697. Petit spectrographe 333
698. Coupe du spectographe..... 332
699. Spectroscope Vogel..... 333
700. Spectres d'absorption..... 337
701. Irradiation d'un point..... 341
702. » d'une droite..... 341
703 » de deux droites..... 341
704. Théorie de l'irradiation 342
705. Irradiation oblique..... 343
706. Intensité de l'irradiation..... 344
707. Lampe à acétate d'amyle..... 361
708. » » 362
709. » » 363
710. » » 364
711. » » 364
712. Photomètre Mascart..... 365
713. » » 365
714. » » 365
715. » » 366
716. » » 367
717. Photomètre Decondun..... 368
718. » » 368
719. Table pour essais..... 369
720. Lanterne pour essais..... 370
721. » » 370
722. Châssis à essais..... 371
723. » » 371
724. Grille pour essais..... 372

Toulouse, Imp. Douladoure-Privat, rue S'-Rome, 39. — 8190

85-B9433



GETTY RESEARCH INSTITUTE
3 3125 01409 3435